

2019 年度 修士論文

建物解体工事の環境影響低減化に向けた発生騒音評価手法の提案

首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 建築学域

18852505 榎本 遼

指導教員 橘高 義典

<b>第1章 序論</b>	1
1.1 研究の背景と目的	2
1.2 既往の研究	5
1.3 本研究における有意性の検討	8
1.4 本研究概要及び過程	9
<b>第2章 予備試験</b>	11
2.1 試験概要	12
2.2 試験方法	13
2.2.1 共通	13
2.2.2 試験(1)	16
2.2.3 試験(2)	16
2.3 予備試験結果	17
2.3.1 試験(1)	17
2.3.2 試験(2)	18
<b>第3章 現場計測</b>	21
3.1 試験概要	22
3.2 計測方法	23
3.2.1 計測器	23
3.2.2 計測場所	24
3.3 計測結果	25
3.3.1 主な作業内容ごとの発生音の周波数分布	25
3.3.2 主な作業内容ごとの現場敷地境界付近の周波数分布	27
3.3.3 予備試験結果による音の性質の現場での適用	29
<b>第4章 音の評価手法</b>	31
4.1 評価にあたっての精度検査	32
4.2 距離減衰による音の低減と推定方法	32
4.3 周波数解析と人体影響	42
4.3.1 評価方法	42
4.3.2 評価結果	45
4.3.3 距離によるスコア値の変化	48
4.3.4 周波数と距離によるスコア値の推定	50

第5章 まとめ .....	55
5.1 本研究における結論.....	56
5.2 今後の展望 .....	57
謝辞 .....	59
付録 .....	61
参考 .....	62
試験データ・計算データ.....	63

## 第 1 章 序論

---

1.1 研究の背景と目的 .....	2
1.2 既往の研究 .....	5
1.3 本研究における有意性の検討 .....	8
1.4 本研究概要及び過程 .....	9

## 1.1 研究の背景と目的

現在、日本における建築はスクラップアンドビルドからストック建築へと変遷していこうとする動きがある中ではあるが、災害の多さや、建築設備の発展が著しいことなどから、建築解体というものは行わなくてはならないものになっている。産業に求められる効率化や省エネルギー化に関して解体工事での適用は少なく、いまだ人の手や感覚に頼ることも多い。経済産業省は将来におけるロボットの産業拡大予想を掲げており、建築業界も進出するべきである。

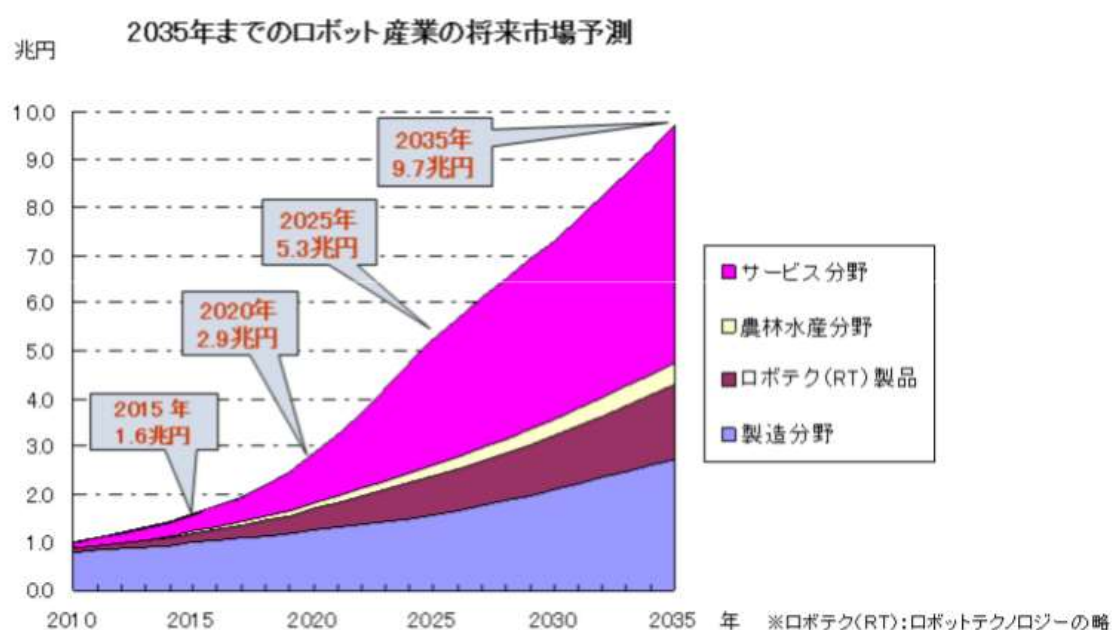


図 1-1 2035 年までのロボット産業の将来市場予測 <sup>1)</sup>

また建設・解体工事における廃棄物は産業廃棄物の多くを占める結果となっており、産業技術という観点では建築特に解体業界は遅れを取っている。そのため解体工事計画時において発生廃棄物量や材料の予測が可能となることは、効率化や廃棄物の減量を目標とするうえで望ましいことであると考えられる。

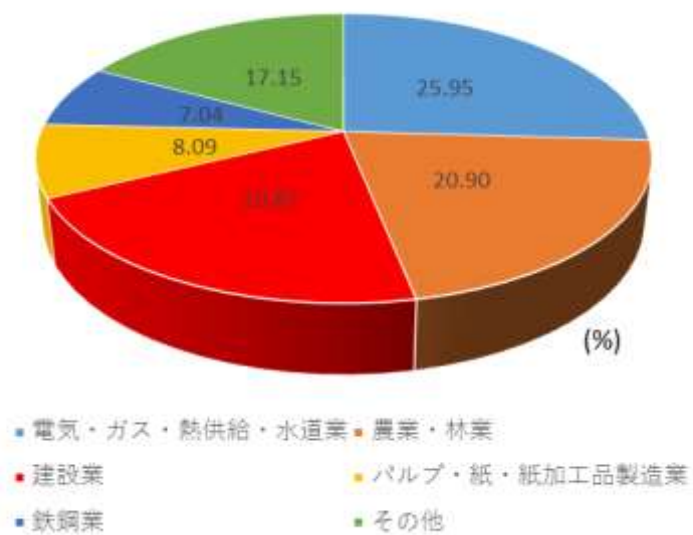


図 1-2 業界別産業廃棄物排出量<sup>2)</sup>

先に述べたことに加え、人々の生活もより快適な環境が望まれており、工事現場における周辺環境への影響を考慮することが非常に重要となっている。解体工事を実行するうえで、工事による影響についての地域住民への説明が肝となっている。事前説明と実行時の環境影響に差異が生じた際には工事を中断せざるを得なくなる場合もあることから注意が必要であることは言うまでもない。騒音規制法が制定された昭和43年から平成26年まで幾度も改正をおこなってきた。生活様態の変化や人間の感じ方などの変化により今後もより厳しい法律が追加される可能性もあることを踏まえると環境影響をより深く考えることになるだろう。

本研究ではそれらの背景から、解体工事計画段階における環境影響の継続的な予測及び対策を講じることが可能となるよう、工事における発生環境負荷を実測による把握を行った後解析をおこなった。今回は環境影響の中でも日常生活と解体工事期間の環境影響な中でも差が明確で、かつ不快感を与えやすい騒音を対象とし解析を行った。発生騒音と工事内容や重機稼働位置など騒音発生時の現場環境と騒音との照合、発生騒音の物理的・心理的評価を指標とし、周辺環境への影響を定量化することを目的とする。

## 1.2 既往の研究

本研究と関連の深い、建築解体業界、その他の業界の自動化について述べたものと、騒音測定や音の特性および評価に関して述べた既往の研究について以下にまとめる。

- ・ 建築ライフサイクルの各種仕上げ工事における環境騒音の周波数特性と改善手法

田村雅紀、坂上志帆 日本建築仕上学会 2014 年大会学術講演会 2510, 47-50 項

### 概要

様々な工事機器による騒音の伝わり方を周波数特性に着眼して評価をおこなったものである。トンカチによる騒音では 10m 離れると暗騒音と変わらないほど減衰しているが、ポンプ車ではほとんど変わらない減衰しないなど、作業による減衰の程度や傾向が異なることが分かった。遮音材量を扉にはめ込み遮音性を測った質量則実験では、材料による遮音性能と周波数による減衰程度の違いが明らかとなった。

### まとめ

音の減衰は作業内容により程度や傾向が異なることがわかり、辺環境への影響を分析するうえで作業ごとに進める必要性があることが理解できた。また遮音材を介しても低周波域音の減衰が少ないことから室内と室外にいるときの音の聞こえにも違いがあることが理解できた。



- ・音の長距離に及ぼす空気の音響吸収の影響—一年間の気象データを用いた検討—

吉久光一、岡田恭明、龍田建次 騒音制御：Vol28,No.2(2004) 256-263 項

## 概要

JIS Z 8738(ISO 9613-1)で規定された屋外の音の伝搬における空気吸収の計算に準じて、音の減衰計算を行ったものである。本研究では気象官署が公表している地上気象観測日原簿の中で温度と湿度、天気の気象データを基に季節や時間帯による音の減衰を周波数ごと比較している。年間を通して減衰を計算した際に高周波ほど減衰が大きくなることが分かったが月ごとに計算結果を見た時に差が非常にあることが明らかで、気象条件の変動により減衰が大きく変わることが分かった。以下にそれぞれ気象条件の比較結果の概要を示す。

- (1)季節による比較では夏季では中音域、冬季では低音域と高音域の減衰が大きい
- (2)天気による比較では、おおよそ晴天時の減衰が雨天時に比べ大きい、中音域では差がほとんど見られない
- (3)1 日の中での変動に関しては正午から午後 4 時に減衰が大きくなる傾向にあるが、それは冬季の晴天時で顕著で、夏季の雨天時にはほとんど変わらない

まとめ、以上の結果から、総じて高周波になるほど減衰は大きく、それは夏季のほうが顕著である。また(2),(3)の結果より湿度の変化が減衰に大きな影響を与えていることが理解できる。

- ・種々の周波数分布を持った衝撃騒音に対する人間感覚の評価

豊川勝男、市原恒一、澤口勇雄 森利学誌 12(1)'1994 27-34 項

#### 概要

騒音障害という健康面からの検討が多くなされていたが、感情面による検討がなかった状況から、生理学的手法と官能評価にて衝撃騒音の分析を行った研究である。中心周波数分布状況による低音型、中音型、高音型に分類した 6 種類の音(どれも 85dB に設定)で実験を行っている。生理学的手法では脳波と心拍数の変動による分析を、官能評価では AHP 法とショケイ積分を利用した 3 測度を計算した。生理学的手法と官能評価のいずれにおいても低音型、高音型、中音型の順で評価がよくなった。

#### まとめ

多く取り扱われてきた生理学的手法と官能評価による結果が一致したことで騒音評価の信頼性が上昇したことに加え、騒音は大きさだけでなく周波数分布によっても人間に与える印象が異なることが理解できた。

### **1.3 本研究における有意性の検討**

本章において騒音の空気伝搬や人間への影響に関する既往の研究についてまとめた。音と生活に関する研究は長きにわたり行われていることが分かったが、実際の現場へ適用したものや解体现場騒音が与える人間への影響について定量的に述べたものは行われておらず、現場での発生騒音に関して点数付けし定量化することが有意であると考えられる。

#### 1.4 本研究概要及び過程

図 1-3 に研究概要図及びフロー図を示す。建築解体が、①「解体工事」、②「廃棄物回収」、③「廃棄物処理」の3段階で分けられることに対して本研究では、①「解体工事」段階での最適化を目指し研究を行った。

研究フローとしては、学内予備試験にて衝撃量や材質による発生騒音の違いを把握し、解体現場本試験にて実際の現場で発生する騒音の計測、ビデオや振動計による位置関係などを把握し、解析にて本試験で得られたデータを基に、作業ごとの発生騒音の分類、現場での減衰の程度、既往研究データを活用した作業のスコアリングを行い、騒音が周辺環境に与える影響を物理的・心理的に分析を行った。

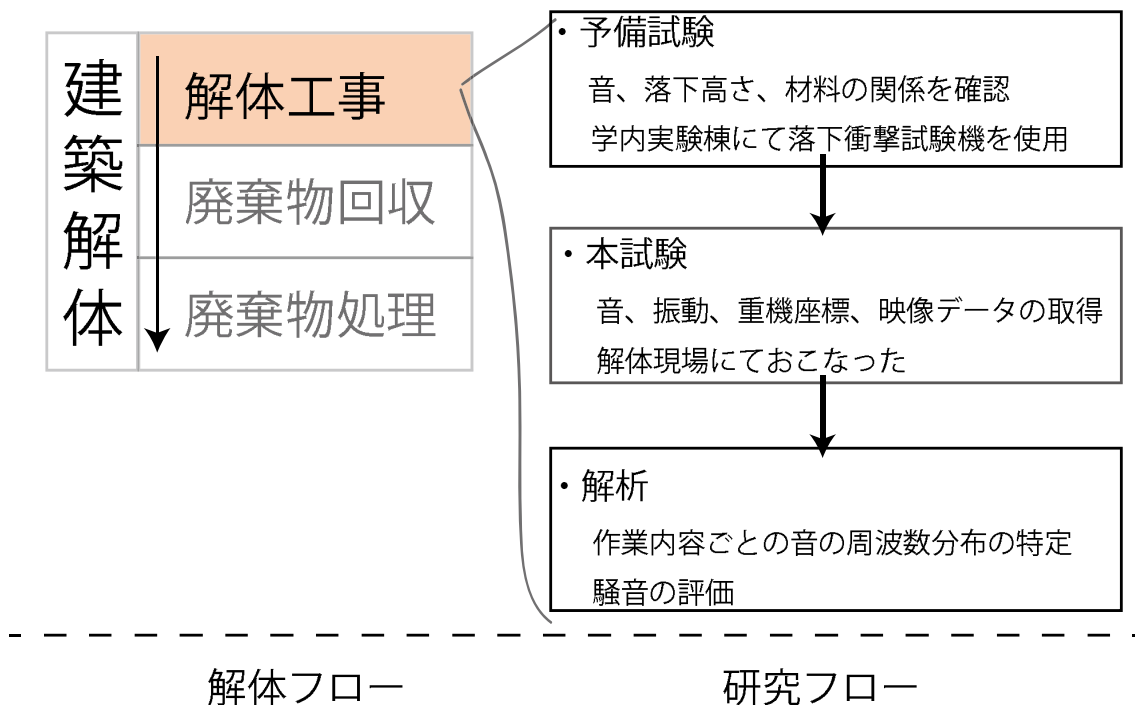


図 1-3: 本研究概要図

## 第2章 予備試験

---

2.1 試験概要.....	12
2.2 試験方法.....	13
2.2.1 共通 .....	13
2.2.2 試験(1).....	16
2.2.3 試験(2).....	16
2.3 予備試験結果 .....	17
2.3.1 試験(1).....	17
2.3.2 試験(2).....	18

## 2.1 試験概要

主な試験概要を表 2-1 に示す。衝撃落下試験による衝撃音の計測として、発生音量を測る「試験(1)」と周波数解析による衝撃音の周波数分布を確認する「試験(2)」の二つの実験を行った。

表 2-1：予備試験概要

	試験(1)	試験(2)
試験場所	首都大学東京構造実験棟	
試験日時	2019年7月26日	2019年8月1日
取得データ	音量(デシベル)	音声(周波数分布)
測定機器	騒音計 Lutron SL-4023SD	ICレコーダー Panasonic RR-X009
材料	木材	金属、石膏、ゴム、木
落下高さ	20cm,40cm	10cm,20cm,40cm
計測距離	1m,2m,3m	0m

## 2.2 試験方法

### 2.2.1 共通

落下衝撃試験機及び板材の固定・鋼球の取り付け方法を図 2-1、図 2-2 に示す。エア・ブラウン社製の落下衝撃試験機の土台に板材をネジで固定し、落下部分に与載荷材として $\Phi=60\text{mm}^3$ の鋼球(図 2-3)を取り付け落下させた衝撃による音の計測を行った。また計測方法については図 2-4 に示すように、落下試験機 3 面をコンクリートパネルに吸音材(発砲ウレタンシート  $t=20$ 、吸音率:0.76(計算値))を貼り付けた吸音パネルで囲み、音の反射、反響を抑えた。残る 1 面方向に出力された音を計測対象とした。なお吸音率は表 2-2 に示すようにグラスウール吸音率から 20 mm 厚グラスウール吸音率を線形補完にて算出後、1.2 倍<sup>4)</sup>し算出した。

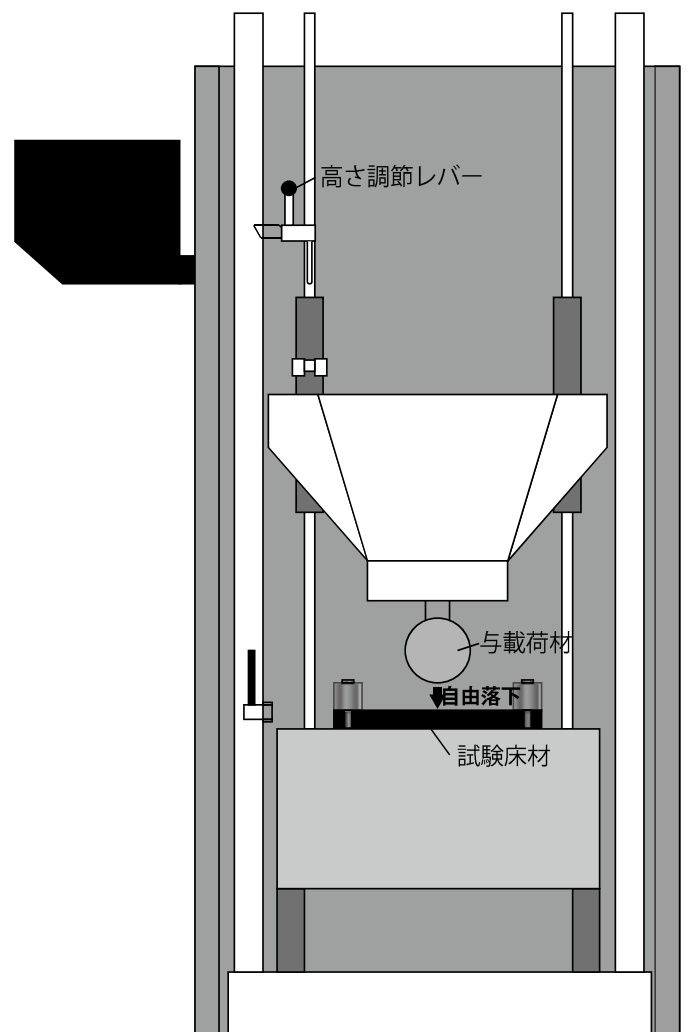


図 2-1：落下衝撃試験機概要

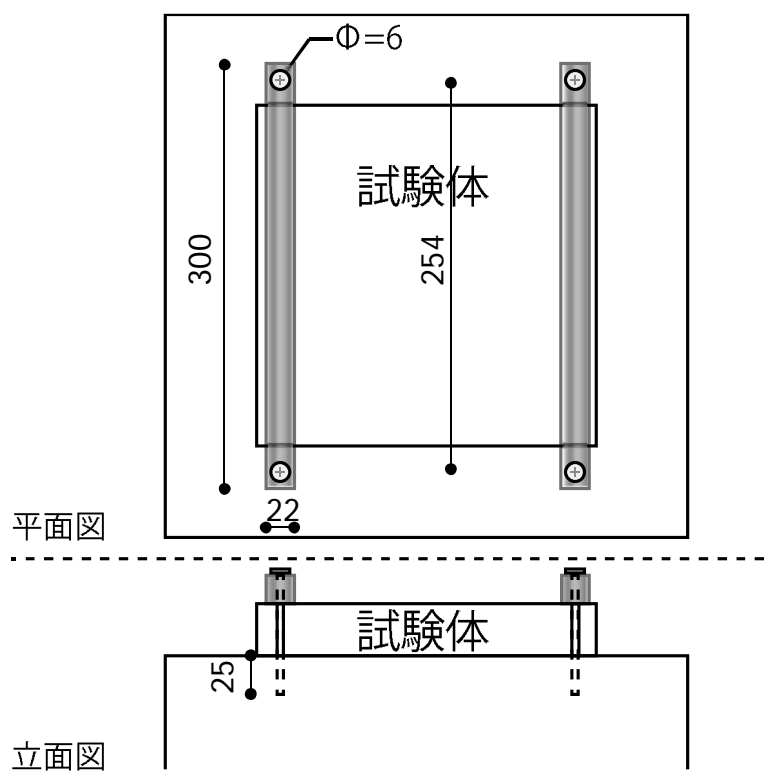


図 2-2 : 試験体固定図



図 2-3 : 鋼球,  $\Phi=60$



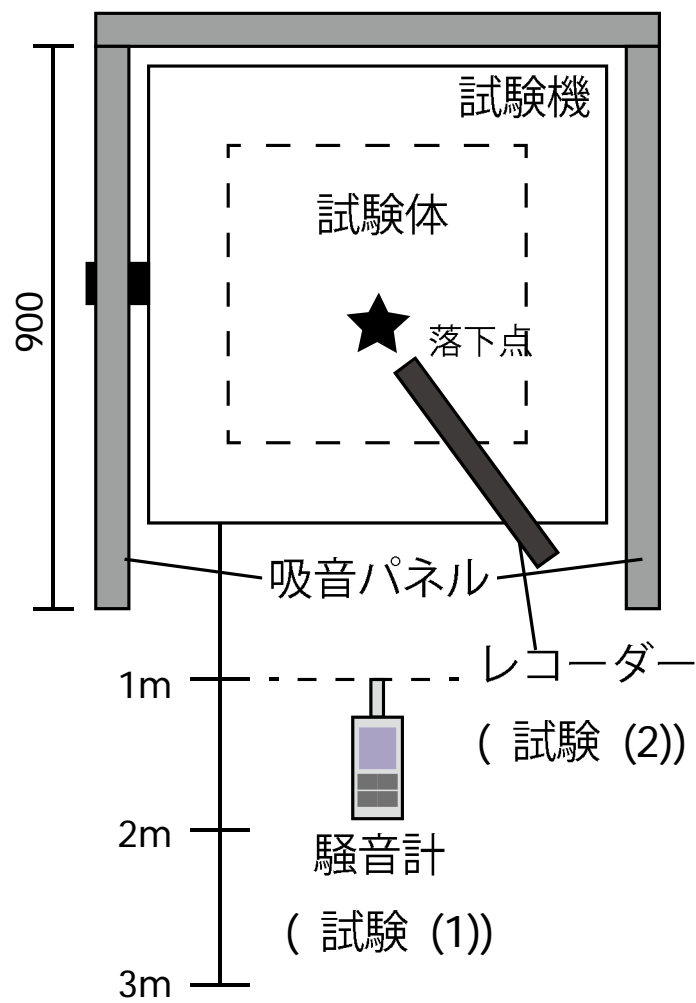


図 2-4 : 計測環境概要

表 2-2 : グラスウールにおける周波数ごとの減衰率と吸音率 (N. R. C)<sup>5)</sup>

膜厚(mm)＼周波数(Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
25	0.1	0.15	0.18	0.23	0.31	0.41	0.51	0.61	0.67
50	0.19	0.24	0.34	0.38	0.49	0.71	0.85	0.97	0.99
20	0.082	0.132	0.148	0.2	0.274	0.35	0.442	0.538	0.606

800	1000	1250	1600	2000	2500	3100	4000	N.R.C
0.72	0.83	0.85	0.91	0.96	0.99	0.97	0.98	0.68
1.01	1.01	1	0.98	0.99	1	1	1	0.87
0.662	0.794	0.82	0.896	0.954	0.988	0.964	0.976	0.63

### 2.2.2 試験(1)

共通試験方法に加え、固定する板材は木材(合板、図 2-5)で、落下高さは 20,40cm とした。音の減衰の程度を確認するために計測位置の距離を変更し、計測距離は 1m,2m,3m と設定した。落下高さ・計測距離のそれぞれにおいて 2 回ずつ図 2-6 に示す騒音計(Lutron SL-4023SD)にて計測をおこない平均値を計測結果とした。



図 2-5 : 試験体(合板)



図 2-6 : 騒音計

### 2.2.3 試験(2)

発生音の特性を測定するため計測距離は 0m のみとし、同試験水準 1 回ずつ図 2-6 に示す IC レコーダーを用いた録音による計測をおこなった。また落下対象材料は木材、ゴム材、金属板、石膏ボードの 4 種類用意した。(図 2-5,2-7)



2.3 予備試験結果

2.3.1 試験(1)

試験(1)の結果及び音の特性に関して図 2-8 に示す。おおむね落下高さと音の大きさには相関があることがわかる。また A 特性での計測音がC特性での計測音と比べて小さくなっているが、これは人間の聴覚が低周波音と高周波音に対して鈍感であり(図 2-9: 等ラウドネス曲線によるもの<sup>6)</sup>、表 2-3: A 特性補正值<sup>7)</sup>、衝撃音には幅広い音域の波が含まれていることが理解できる。

また計測距離が大きくなると特性ごとのデシベル差が小さくなっていることから、低周波音または高周波音は空気伝搬による距離減衰の割合が高いことが考えられる。

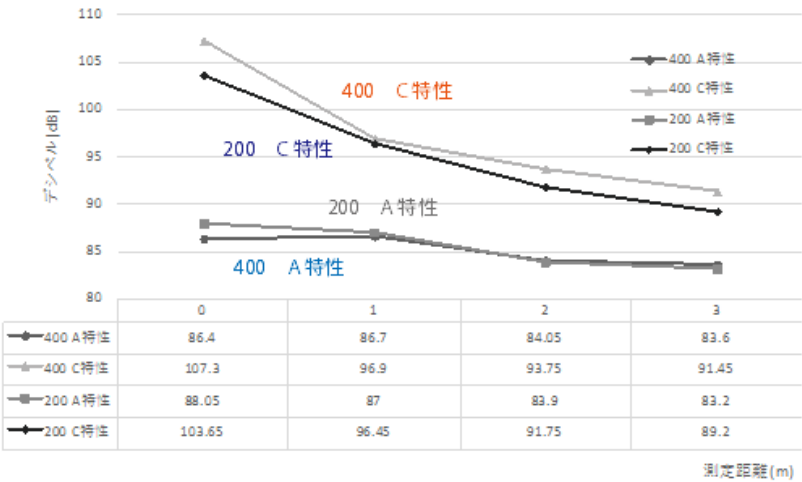


図 2-8 : 特性と落下高さの違いによる計測距離とデシベル値

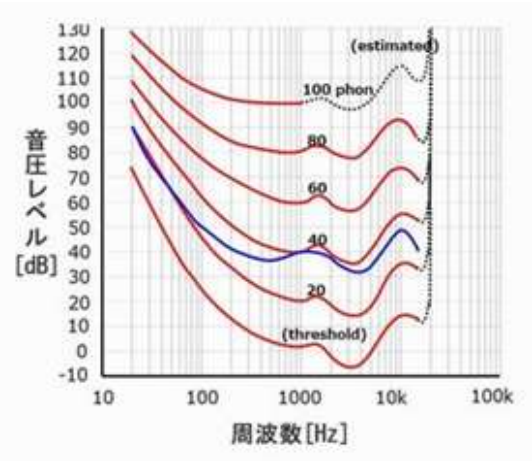


図 2-9 : 等ラウドネス曲線

表 2-3 : A 特性補正值

周波数(Hz)	補正值(dB)
50	-30.2
100	-19.1
200	-10.9
500	-3.2
1000	0.0
2000	1.2
5000	0.5
10000	-2.5
20000	-9.3

### 2.3.2 試験(2)

試験(2)で得られた音データを周波数解析したものを図 2-10 に示す。周波数解析にはフリーソフトの EzFFT を用いた。これはそれぞれ落下高さ 20cm の結果である。図は周波数－デシベルの関係を表している。

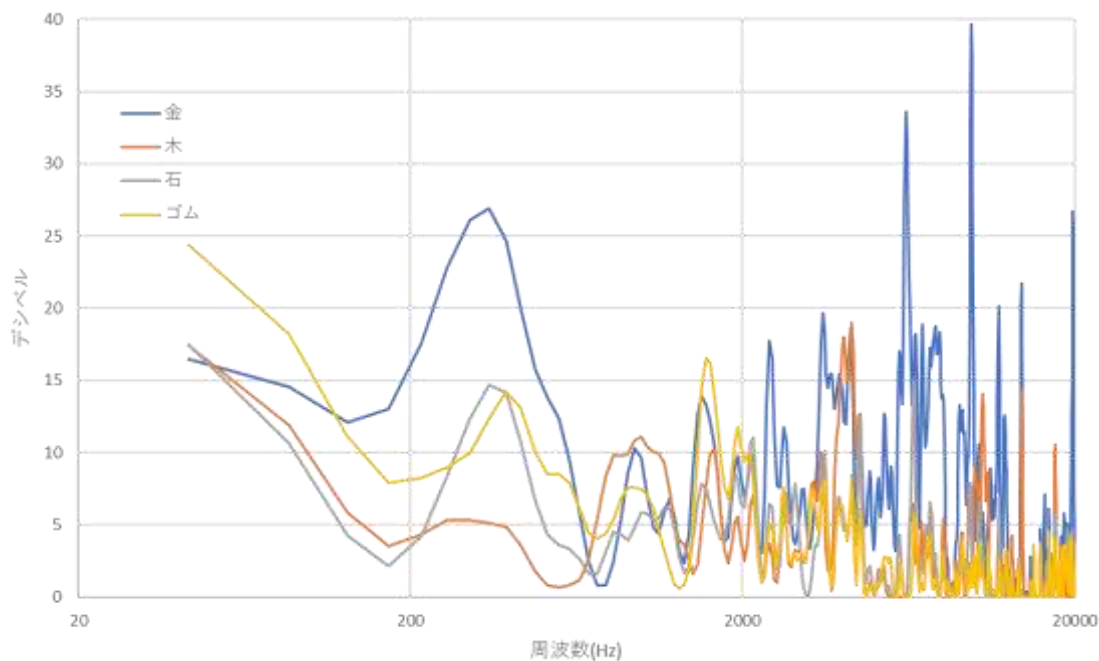


図 2-10：材料ごとの周波数分布

図より高周波音が大きく発生していることが分かる。木材と石膏に大きな差は見られないが、石膏ボードは比較的低周波の割合が高く低音が発生している。ゴム材は低音で大きくなっているが、高周波は 0～5dB とほとんど音は発生していないことが分かった。

またこの結果から発生音の大きさは材料の密度に関係し、高さ（周波数分布）は材料の表面硬度によると仮説を立てそれぞれ解析をおこなった結果を図 2-11、図 2-12 に示す。

なお、表面硬度は ISO, Bosch, van Laar, Opel に規格されている ERICHSEn 社の引っ掻き硬度計モデル 318 にて計測した(図 2-13)。

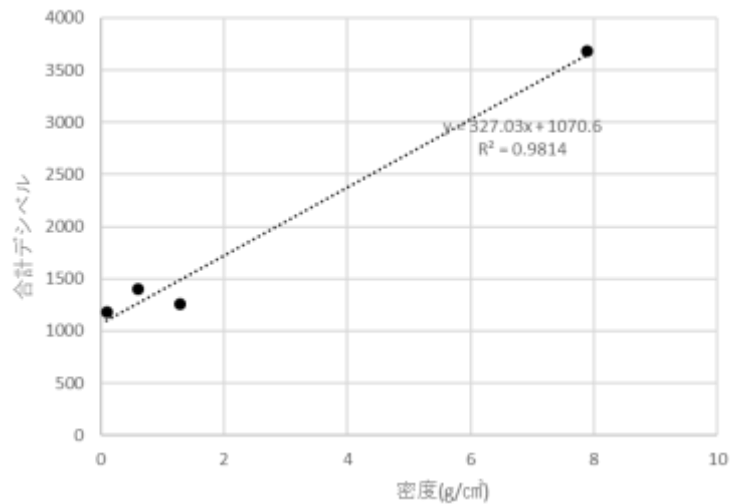


図 2-11：材料の密度と音の大きさ

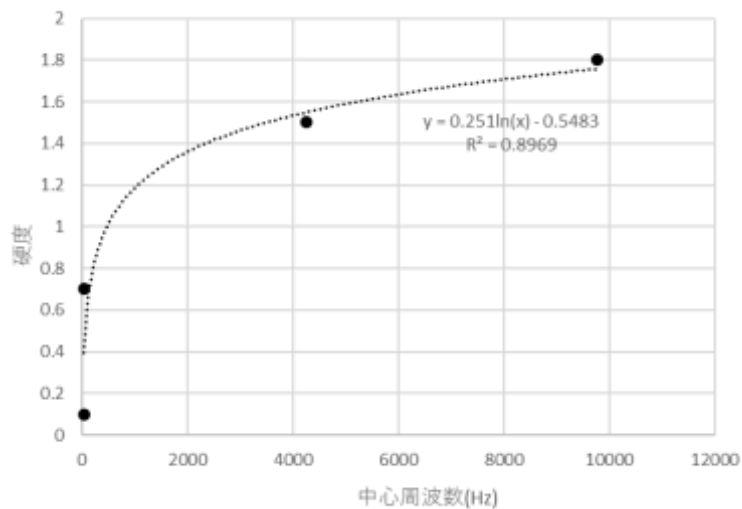


図 2-12：硬度と中心周波数

密度と音の大きさには正の相関がみられ決定係数  $R^2 = 0.98$  と非常に高い。密度が高いと音の伝わりやすさが増すからだと考えられる。一方周波数と表面硬度にも相関がみられ、その近似式は  $y = 0.251 \ln(x) - 0.55$  で表すことができその決定係数  $R^2 = 0.90$  と高い相関があるとみられた。



図 2-13 : 硬度計

## 第3章 現場計測

---

3.1 試験概要.....	22
3.2 計測方法.....	23
3.2.1 計測器.....	23
3.2.2 計測場所 .....	24
3.3 計測結果.....	25
3.3.1 主な作業内容ごとの発生音の周波数分布.....	25
3.3.2 主な作業内容ごとの現場敷地境界付近の周波数分布.....	27
3.3.3. 予備試験結果による音の性質の現場での適用.....	29

### 3.1 試験概要

試験概要を表 3-1 に示す。工期が 2019 年 9 月～2020 年 3 月である本工事であるが、建屋解体を行った 12 月 18,19,23 の 3 日間、8 時から 17 時頃までの期間で計測を行った。解体建物は RC 壁式構造の 4 階建て 2 棟でどちらにおいてもアタッチメントに大割圧砕機を装着した重機による地上解体が行われた。この工事においてカメラ 2 台、レコーダー 5 台、振動計 6 台による計測を行った。

表 3-1：試験概要

試験日時	2019年12月18,19,23日
試験場所	千葉県
建物情報	RC 4 階
使用重機	KOBELCO SK400DLC
	KOBELCO SK350D
	KOBELCO SK210D
取得データ	音声、振動、映像



## 3.2 計測方法

### 3.2.1 計測器

使用した計測器は、デジタルカメラ、振動計、I Cレコーダーの3種類であり、それぞれJ V Cケンウッド社製デジタルカメラ、振動計：ATR-Promotions 社製の小型無線多機能センサ TSND151(図 3-1))、I CレコーダーRR-XP009(図 3-2)である。

また振動計を重機に取り付ける際には固定、防水の意味合いも込め図 3-3 に示すようにアルミ L 字形鋼を使用した固定治具にて 800N の磁力を持つニューストロング社のマグネットベースにねじ固定し計測対象重機に取り付けた(振動計群と呼ぶ)。散水による防水のため各振動計群は、スライダー付フリーザーバッグにて密閉した。I Cレコーダーの重機及び各計測場所への取り付けはビニルテープにて十分に固定し、振動による雑音が録音されないよう留意した。

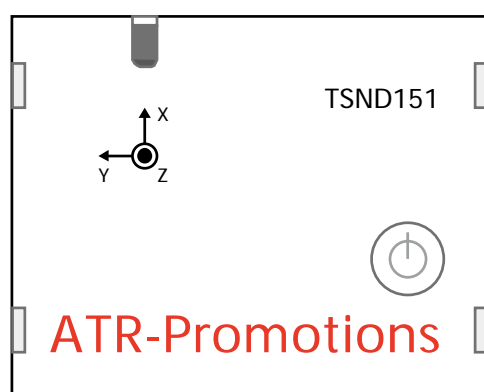


図 3-1：振動計



図 3-2：I Cレコーダー

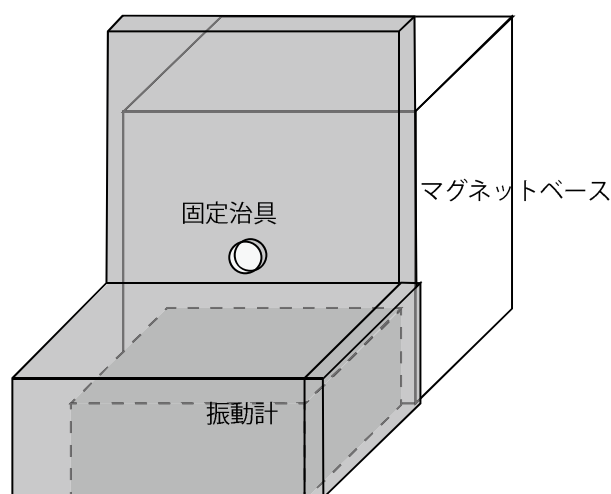


図 3-3：重機との接続治具

3.2.2 計測場所

各計測器の主な取り付け場所を図3-4に示す。カメラと振動計の計測場所は、計測器取り付け重機の稼働位置や稼働状況によって適宜変更した。1日目の計測状況を表3-2に示す。

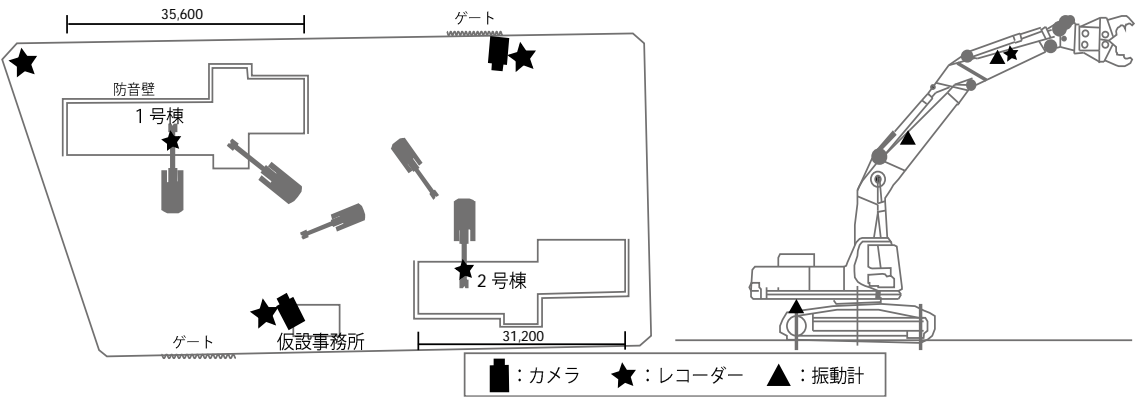


図3-4：計測機器の取り付け場所

表3-2：1日目の計測状況

番号	機械名	設置場所	備考
1	カメラ黒	2号棟正面	子重機の動作を撮影
		キュービクル傍	親機に2台をやめ、各機の挙動撮影
2	カメラ赤	1号棟正面	親重機の動作を撮影
		仮設事務所左手すり	10時前に位置替え、データ抽出で中断 10:50頃から撮影再開
3	マイク1	カメラ黒傍	養生テープ固定
4	マイク2	カメラ赤傍	養生テープ固定
5	マイク3	敷地境界（風防裏）	養生テープ固定
6	マイク4	親機 先端中腹	養生テープ固定
7	マイク5	子機先端中腹	養生テープ固定
8	振動計1 COM16	親機アーム中腹	磁石固定で計測
9	振動計2 COM13	子機アーム中腹	磁石固定で落下のため午前中の計測不可 午後より養生テープ固定
10	振動計3 COM15	親機ブーム中腹	磁石固定で計測
11	振動計4 COM6	親機車体下部	磁石固定で計測
12	振動計5 COM10	子機ブーム中腹	磁石固定で計測 午後落下のため計測不可能
13	振動計6 COM5	子機車体下部	磁石固定で計測

### 3.3 計測結果

#### 3.3.1 主な作業内容ごとの発生音の周波数分布

重機の特徴的な作業内容ごとの発生音（重機先端に取り付けたレコーダーでの結果）の比較結果を図3-5～3-9に示す。本試験での周波数解析には予備試験同様 EzFFT を使用した。なお、本研究では先行研究<sup>8)</sup>を基に、20(可聴最低周波数)～150Hz を低周波、150～2000Hz を中周波、2000～20000(可聴最高周波数)Hz を高周波と定義する。

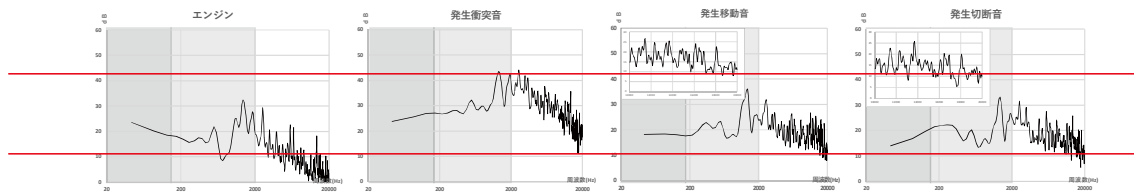


図 3-5：発生音の比較

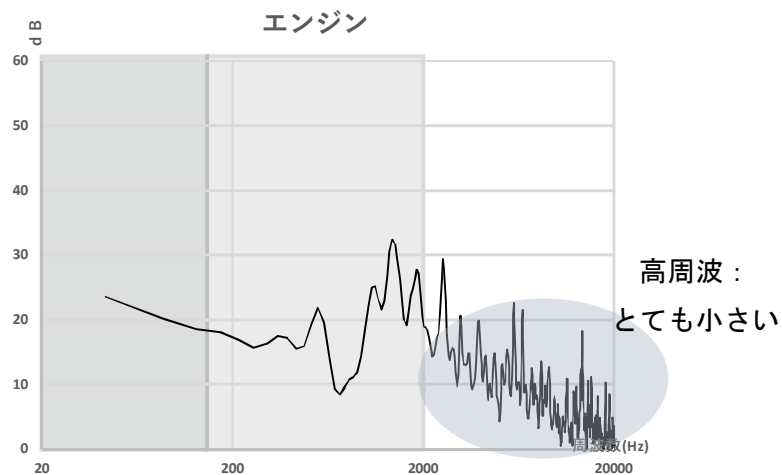


図 3-6：エンジン音

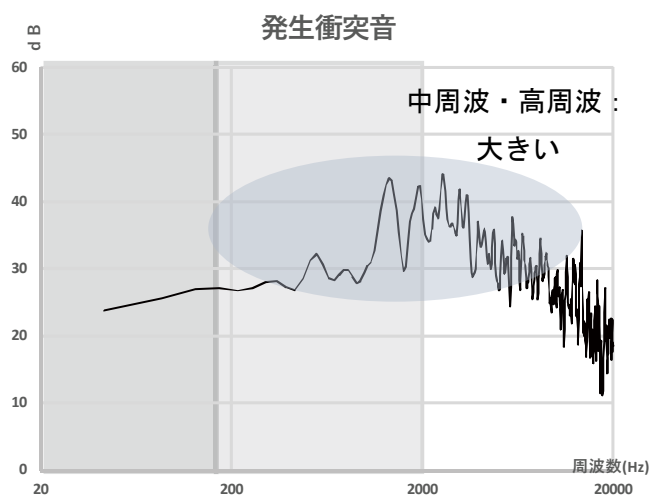


図 3-7：衝突音

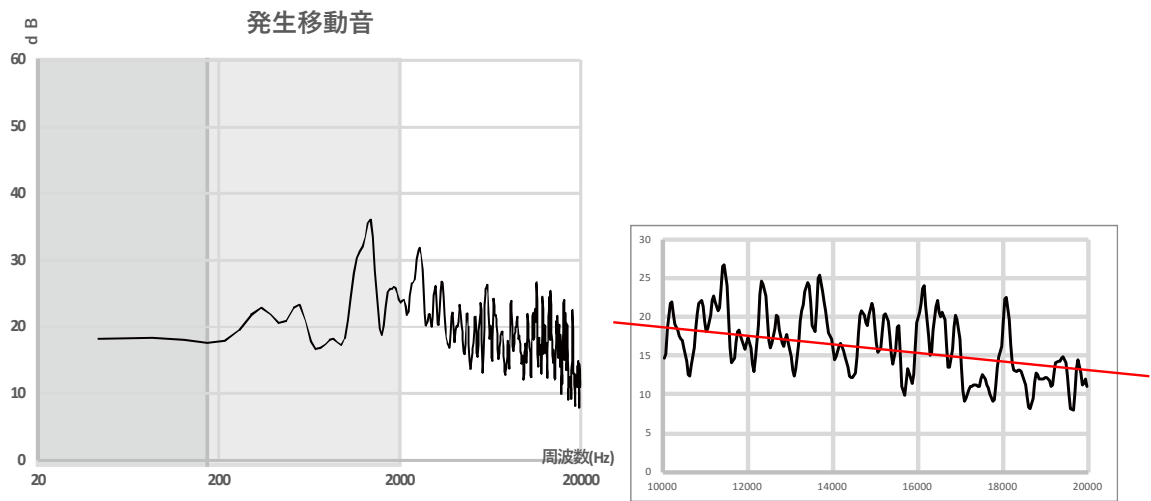


図 3-8 : 移動音

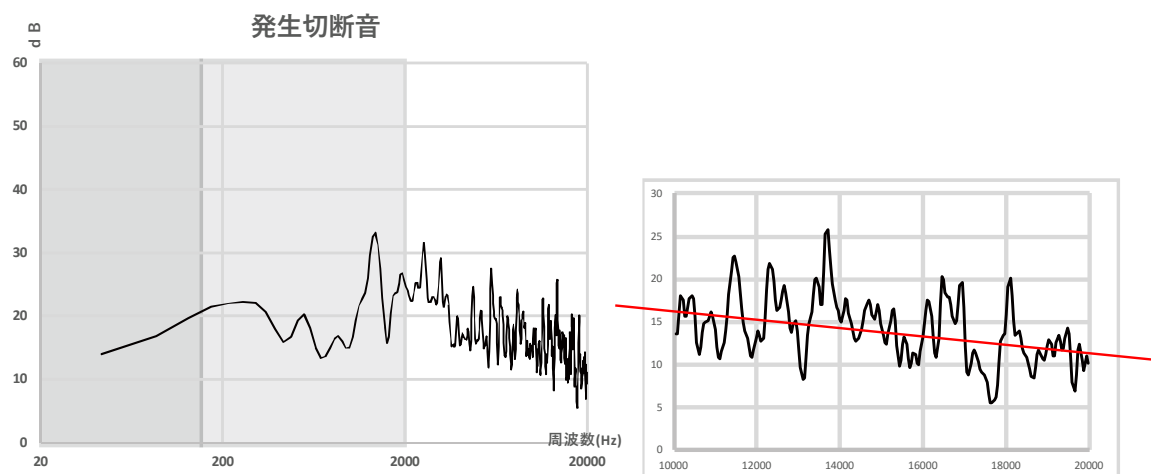


図 3-9 : 切断音

図 3-5 の発生音を比較すると、重機アタッチメントと建物との衝突による音大きいことが分かる。それぞれの周波数分布については、低周波騒音問題<sup>9)10)11)</sup>にも掲げられる可能性のある重機のエンジン音は低周波の占める割合が高いことが分かる。それとは反対に衝突音は低周波域においてはエンジン音とほぼ等しいものの 2000～3000Hz 域にかけて極大値を取りその後小さくなりつつも他の騒音に比べ中周波～高周波音が大きい。重機の移動に伴う音と圧碎音は近しい波形を表しているが、高周波域を拡大してみると(図 3-8,3-9 右)若干移動音の数値が高いことが赤い線を見ると分かる。これは地面に鉄板が敷かれていたことから金属同士の擦れ合いによって高い音が発生したものの思われる。以上の結果から発生音量及び周波数域は、エネルギーの大きさと接触する材料によって変わるという予備試験で得られた結果が実際の現場でも適用されることを明示することができた。

3.3.2 主な作業内容ごとの現場敷地境界付近の周波数分布

次に作業施行階層で区別した周辺到達音(カメラ横に取り付けたレコーダーにおける結果)の比較結果を図 3-10～3-13 に示す。先ほどの発生音の周波数分布図と比較すると各工程においてデシベル値が減少していることが見て取れる。

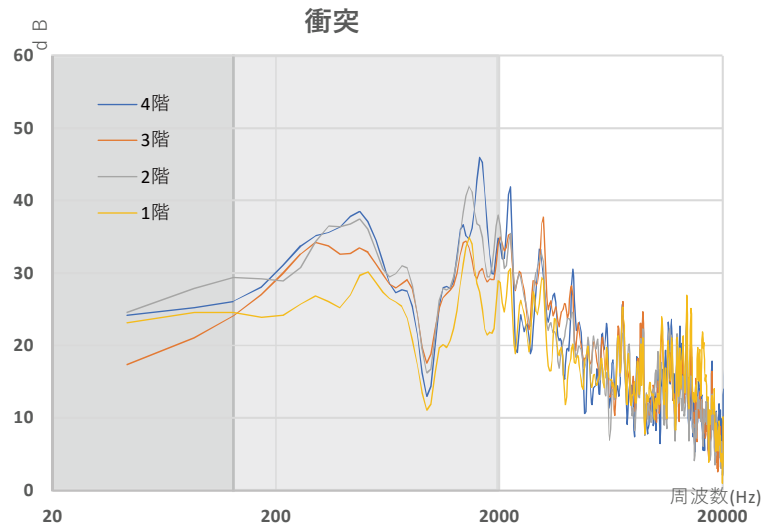


図 3-10：階層断との到達音（衝突）

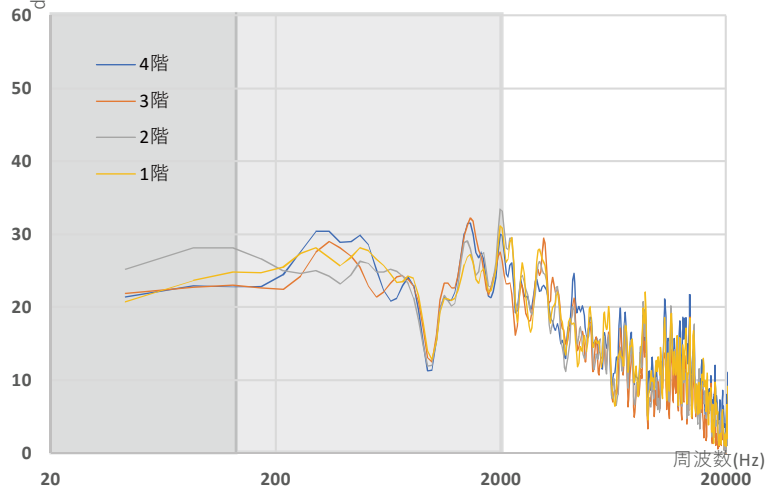


図 3-11：階層ごとの到達音（切断）

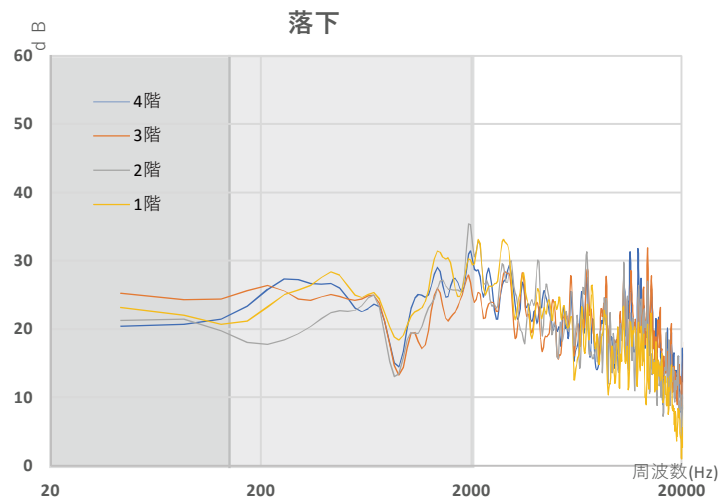


図 3-12 : 階層ごとの到達音（落下）

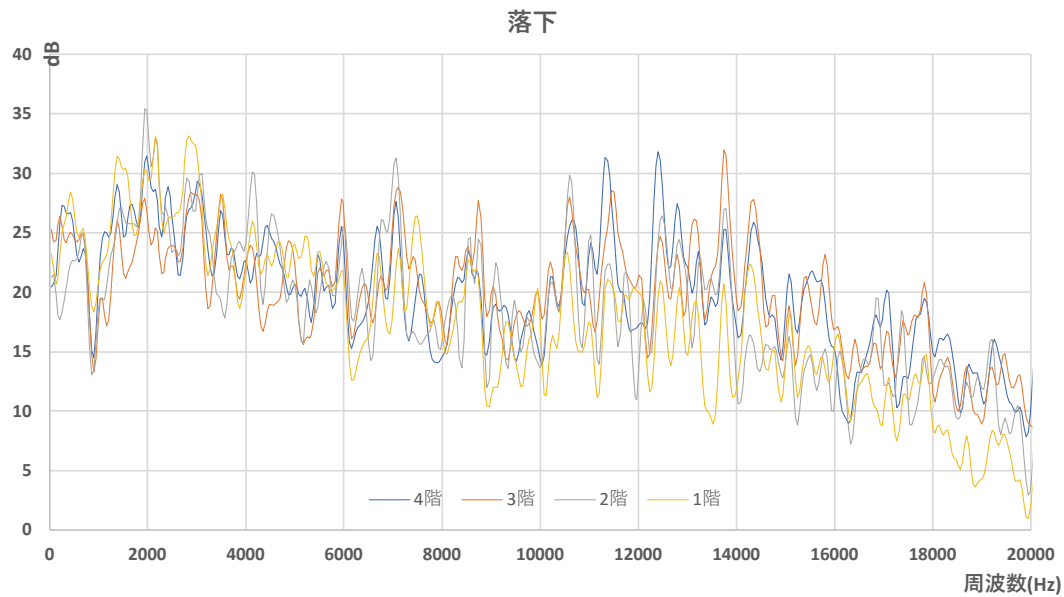


図 3-13 : 図 3-12 の中周波以上域詳細

図の階層ごとの結果であるが、衝突音と切断音では違いが見られなかった。というのも発生音にばらつきがあるために階層のような微小距離では違いが発生しなかったとみられる。データのサンプル数を増加し発生音の精度を高めたうえで比較を行うことが必要であると考えられる。落下に伴う音では、より高所から落下させた廃棄物が大きな音を生み出し、数十メートル離れた録音地点まで影響が残っていたことが分かる。

### 3.3.3 予備試験結果による音の性質の適用

また図 3-14 に落下高さと FFT 解析を行った各周波数におけるデシベル値の和との関係を示す。落下高さは地面からそれぞれの階層の中間地点までの高さとして計算した。結果として落下高さの増加に伴い周波数も増していることが理解できる。またエンジン音のみの場合を落下高さの 0m 地点の発生音(y 切片)としたときの回帰近似式で表すと図の結果となり、 $R^2=0.66$  と相関がみられ予備試験で得られた知見をこちらにも実現場にて適用できることを証明できた。

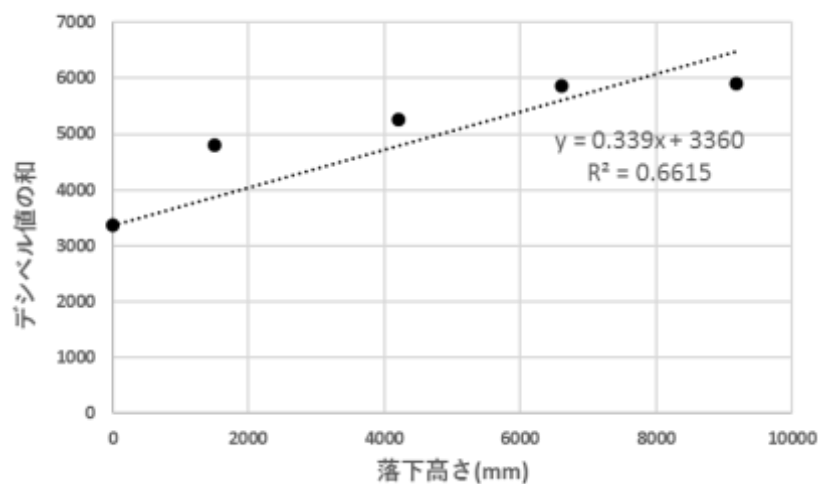


図 3-14：落下高さと合計デシベル値の関係

最後に衝突に伴う発生音と到達音の大小を分析した結果を図 3-15 に示す。純音でないために到達音が大きくなっているところも数か所存在するがおおむね減衰による音の減少があることが分かる。

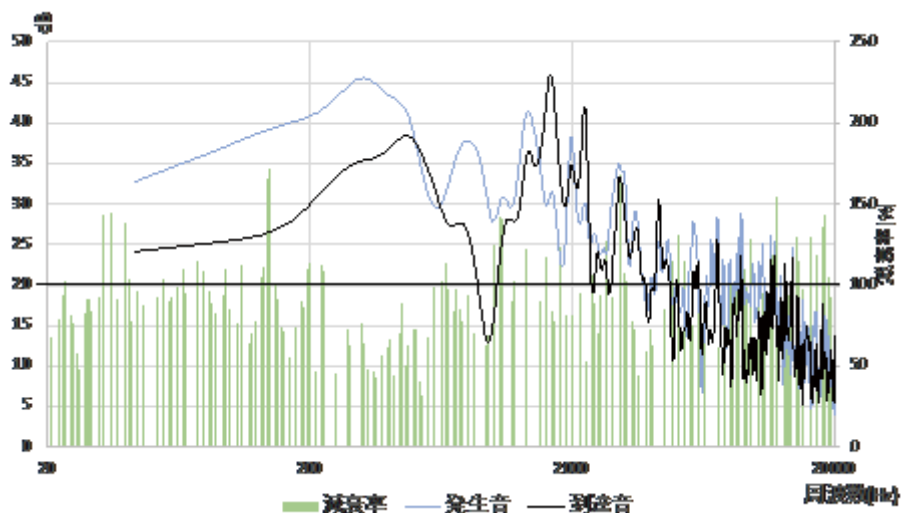


図 3-15：発生音と到達音の比較及び減衰率

## 第4章 音の評価手法

---

4.1 評価にあたっての精度検査 .....	32
4.2 距離減衰による音の低減と推定方法 .....	32
4.3 周波数解析と人体影響 .....	42
4.3.1 評価方法 .....	42
4.3.2 評価結果 .....	45
4.3.3 距離によるスコア値の変化 .....	48
4.3.4 周波数と距離によるスコア値の推定 .....	50



#### 4.1 評価にあたっての精度検査

本研究での騒音評価に関して課題となるのが音の発生、及び伝搬が様々な環境因子によって変動しており、正確な定量化が難しい点である。多数の騒音発生源がある場合、サンプルを十分に取り 90%レンジの上端値を算出する必要があるが<sup>12)</sup>、今回は同環境条件におけるデータ数が不十分なため、抽出したデータから全周波域のデシベル値における母平均の95%信頼区間を算出し、全周波域の50%以上適合が認められたものを有効な騒音データとして扱うこととした(図4-1)。

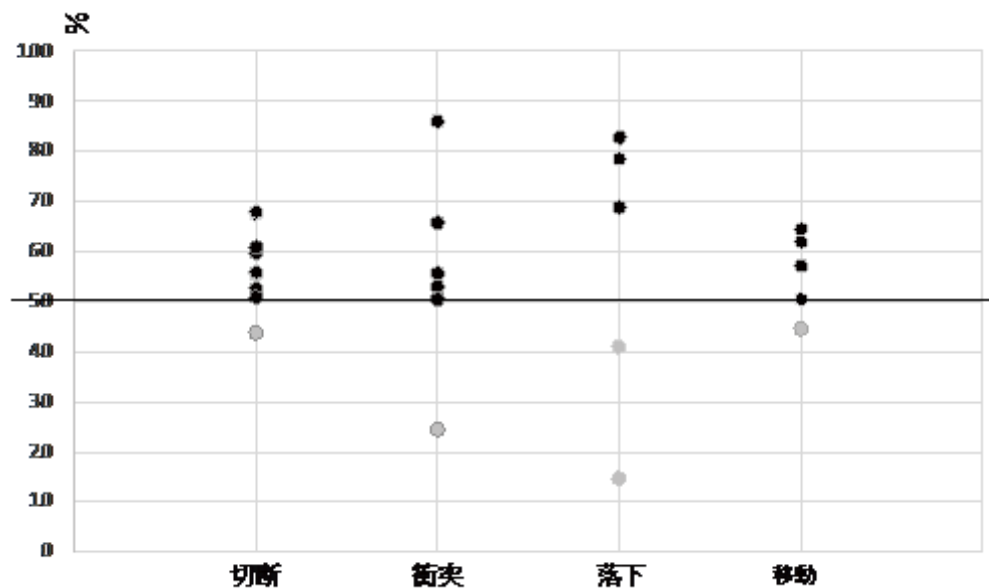


図 4-1：有効データの抽出

#### 4.2 距離減衰による音の低減と推定方法

3.1.で得られた有効なデータを基に音の減衰を表す。音の距離減衰の推定が可能となることは、周辺地域への影響の評価において不可欠となる。音の発生地点からの距離における全可聴周波域のデシベル推定グラフを図4-2～図4-6に、距離による減衰の推定式を

表4-1～4-5に示す。図は重機に取り付けたレコーダーデータ(発生源からの距離が3m)と発生源から約34m離れた到達音の有効データ中での平均値を用いて散布図を用いて図示したのち、20～20000Hzを1000Hzの狭区域ごとに対数近似式を求め繋ぎ合わせることで導いた。図4-1は衝突音によるものであり手前側波形を見ると、中・高周波の割合が比較的高い波形をしているのが特徴的である。しかし距離が離れていくにつれて差が出てきていることが分かり、100mを越えたあたりから、デシベルが0まで減少する周波数が高周波域で頻繁にみられるようになった。

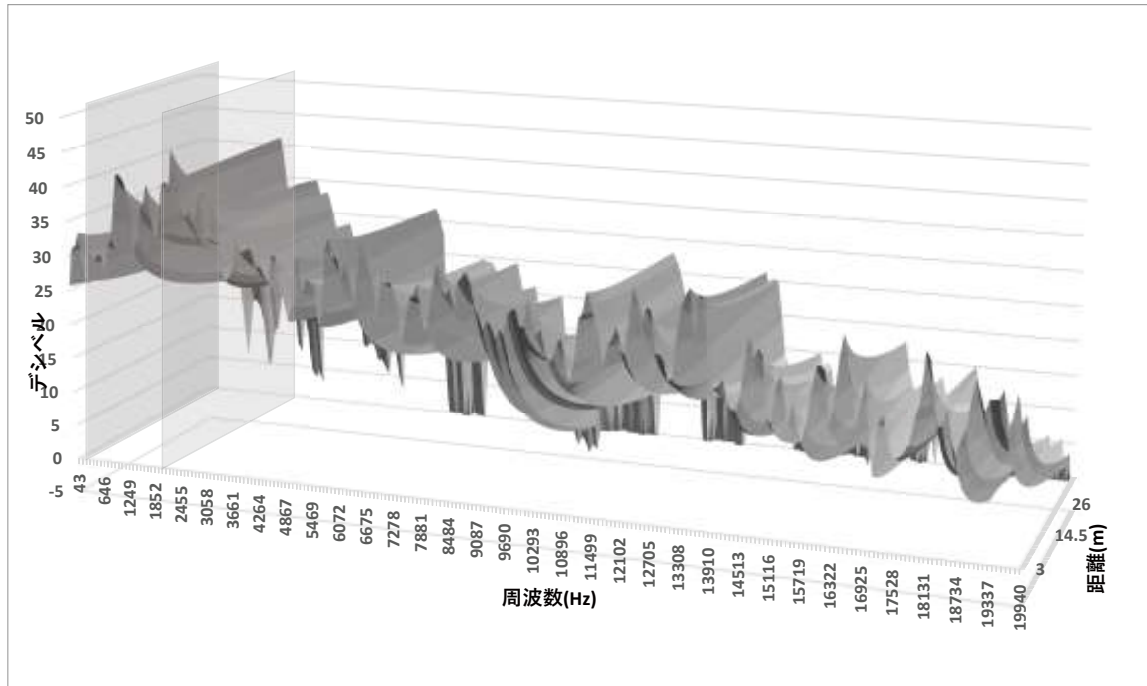


図 4-2：周波数ごとの距離減衰による音の程度(衝突)

表 4-1：減衰推定式(衝突)

周波数(Hz)	推定式
20-150	$y = -0.673\ln(x) + 26.461$
250-1000	$y = -1.356\ln(x) + 33.042$
1000-2000	$y = -4.605\ln(x) + 37.69$
2000-3000	$y = 0.2627\ln(x) + 35.575$
3000-4000	$y = -2.255\ln(x) + 40.501$
4000-5000	$y = -4.047\ln(x) + 37.364$
5000-6000	$y = -1.304\ln(x) + 25.017$
6000-7000	$y = -6.035\ln(x) + 39.865$
7000-8000	$y = -2.121\ln(x) + 27.355$
8000-9000	$y = -4.904\ln(x) + 29.2$
9000-10000	$y = -9.6\ln(x) + 41.741$
10000-11000	$y = -5.398\ln(x) + 31.65$
11000-12000	$y = -1.111\ln(x) + 19.893$
12000-13000	$y = -5.736\ln(x) + 33.351$
13000-14000	$y = -2.529\ln(x) + 23.071$
14000-15000	$y = -4.731\ln(x) + 25.402$
15000-16000	$y = -4.168\ln(x) + 21.163$
16000-17000	$y = -4.261\ln(x) + 29.021$
17000-18000	$y = -1.861\ln(x) + 16.876$
18000-19000	$y = -6.712\ln(x) + 34.935$
19000-20000	$y = -6.845\ln(x) + 29.978$

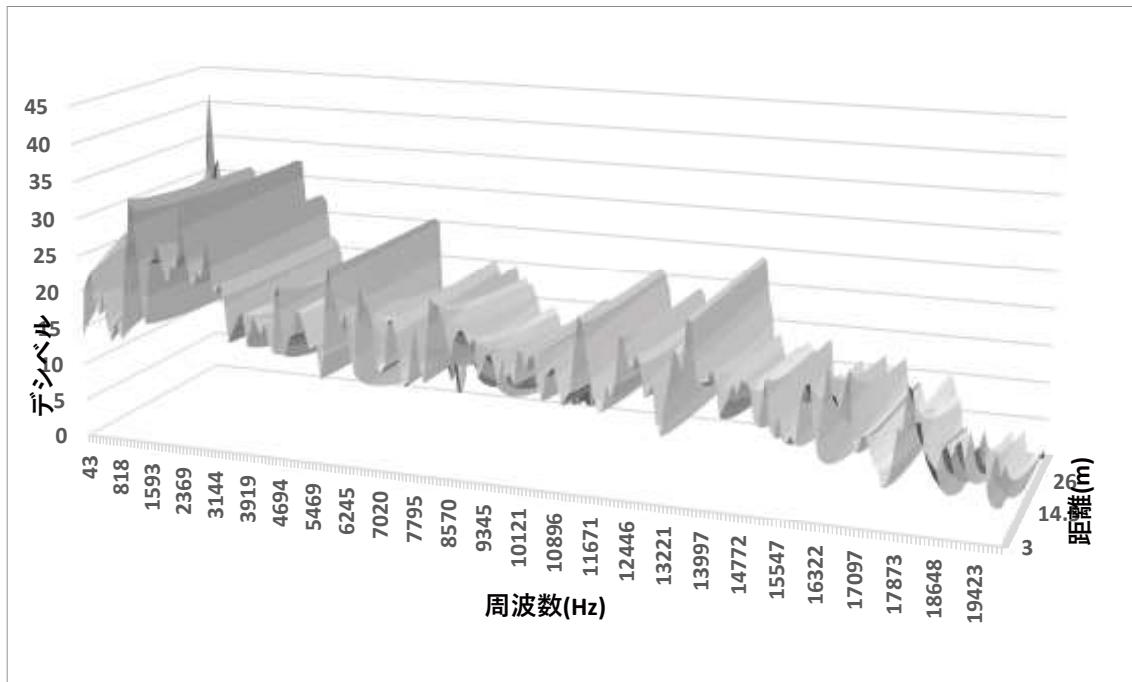


図 4-3 : 周波数ごとの距離減衰による音の程度(切断)

表 4-2 : 減衰推定式(切断)

周波数(Hz)	推定式
20-150	$y = 3.5962\ln(x) + 9.9756$
250-1000	$y = 1.533\ln(x) + 19.931$
1000-2000	$y = -0.854\ln(x) + 25.228$
2000-3000	$y = -0.13\ln(x) + 25.162$
3000-4000	$y = -0.339\ln(x) + 29.124$
4000-5000	$y = -1.536\ln(x) + 20.825$
5000-6000	$y = -0.268\ln(x) + 17.119$
6000-7000	$y = -3.046\ln(x) + 26.459$
7000-8000	$y = -0.1\ln(x) + 14.155$
8000-9000	$y = -2.16\ln(x) + 19.995$
9000-10000	$y = -2.825\ln(x) + 20.9$
10000-11000	$y = -0.651\ln(x) + 14.125$
11000-12000	$y = -0.706\ln(x) + 13.293$
12000-13000	$y = -0.829\ln(x) + 15.829$
13000-14000	$y = -0.046\ln(x) + 16.105$
14000-15000	$y = -1.696\ln(x) + 18.071$
15000-16000	$y = -1.652\ln(x) + 13.827$
16000-17000	$y = -3.21\ln(x) + 20.774$
17000-18000	$y = -1.204\ln(x) + 12.528$
18000-19000	$y = -4.455\ln(x) + 23.557$
19000-20000	$y = -4.236\ln(x) + 17.133$

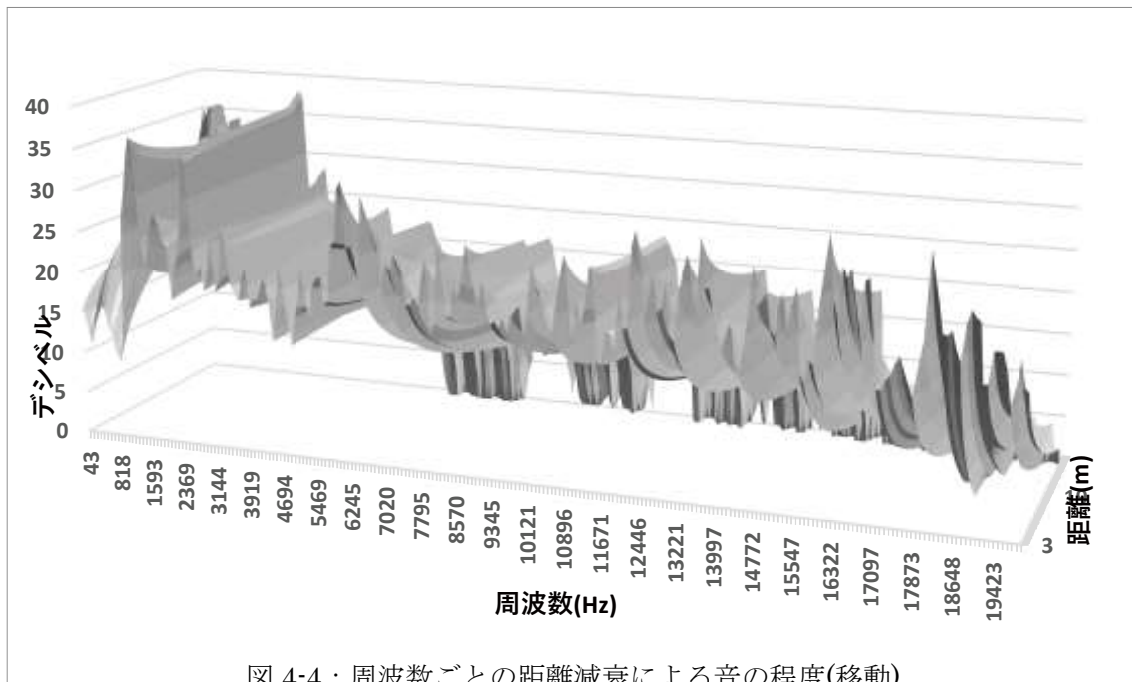


図 4-4：周波数ごとの距離減衰による音の程度(移動)

表 4-3：減衰推定式(移動)

周波数(Hz)	推定式
20-150	$y = 3.4074\ln(x) + 11.749$
250-1000	$y = 7.0283\ln(x) + 3.2504$
1000-2000	$y = -2.032\ln(x) + 29.411$
2000-3000	$y = -0.481\ln(x) + 23.605$
3000-4000	$y = -0.583\ln(x) + 27.549$
4000-5000	$y = 0.0831\ln(x) + 18.458$
5000-6000	$y = -1.36\ln(x) + 19.852$
6000-7000	$y = -6.242\ln(x) + 39.431$
7000-8000	$y = -5.094\ln(x) + 30.159$
8000-9000	$y = -2.206\ln(x) + 18.931$
9000-10000	$y = -3.304\ln(x) + 23.931$
10000-11000	$y = -4.09\ln(x) + 24.533$
11000-12000	$y = -1.053\ln(x) + 18.442$
12000-13000	$y = -5.537\ln(x) + 29.378$
13000-14000	$y = -4.322\ln(x) + 28.315$
14000-15000	$y = -4.014\ln(x) + 22.541$
15000-16000	$y = -5.525\ln(x) + 26.309$
16000-17000	$y = -8.346\ln(x) + 34.099$
17000-18000	$y = -6.204\ln(x) + 28.149$
18000-19000	$y = -11.33\ln(x) + 43.522$
19000-20000	$y = -6.509\ln(x) + 24.171$

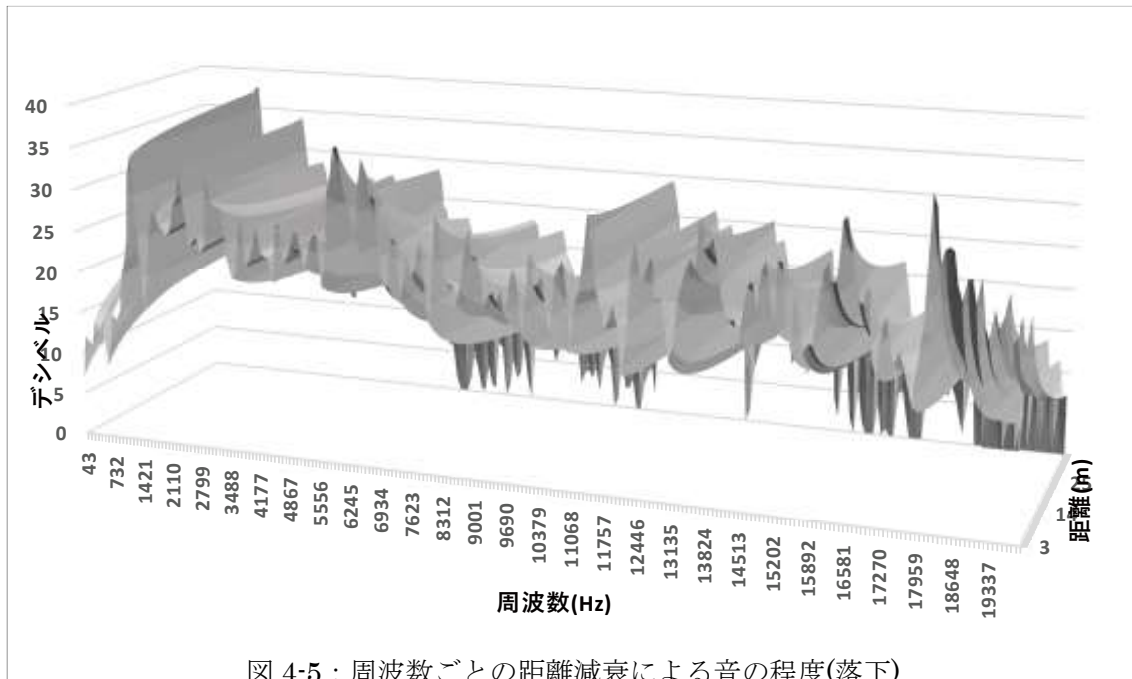


図 4-5：周波数ごとの距離減衰による音の程度(落下)

表 4-4：減衰推定式(落下)

周波数(Hz)	推定式
20-150	$y = 3.5209\ln(x) + 8.2637$
250-1000	$y = 3.3122\ln(x) + 11.486$
1000-2000	$y = 1.1454\ln(x) + 18.513$
2000-3000	$y = 0.2521\ln(x) + 25.866$
3000-4000	$y = -1.747\ln(x) + 34.999$
4000-5000	$y = -0.1\ln(x) + 22.561$
5000-6000	$y = -2.039\ln(x) + 27.912$
6000-7000	$y = -5.413\ln(x) + 43.204$
7000-8000	$y = -3.582\ln(x) + 31.328$
8000-9000	$y = -2.66\ln(x) + 24.25$
9000-10000	$y = -3.036\ln(x) + 29.313$
10000-11000	$y = -3.573\ln(x) + 25.818$
11000-12000	$y = -0.932\ln(x) + 24.202$
12000-13000	$y = -1.195\ln(x) + 21.06$
13000-14000	$y = -2.808\ln(x) + 29.858$
14000-15000	$y = -2.25\ln(x) + 24.412$
15000-16000	$y = -4.821\ln(x) + 32.705$
16000-17000	$y = -4.821\ln(x) + 32.705$
17000-18000	$y = -2.206\ln(x) + 20.826$
18000-19000	$y = -8.981\ln(x) + 46.846$
19000-20000	$y = -5.338\ln(x) + 29.235$

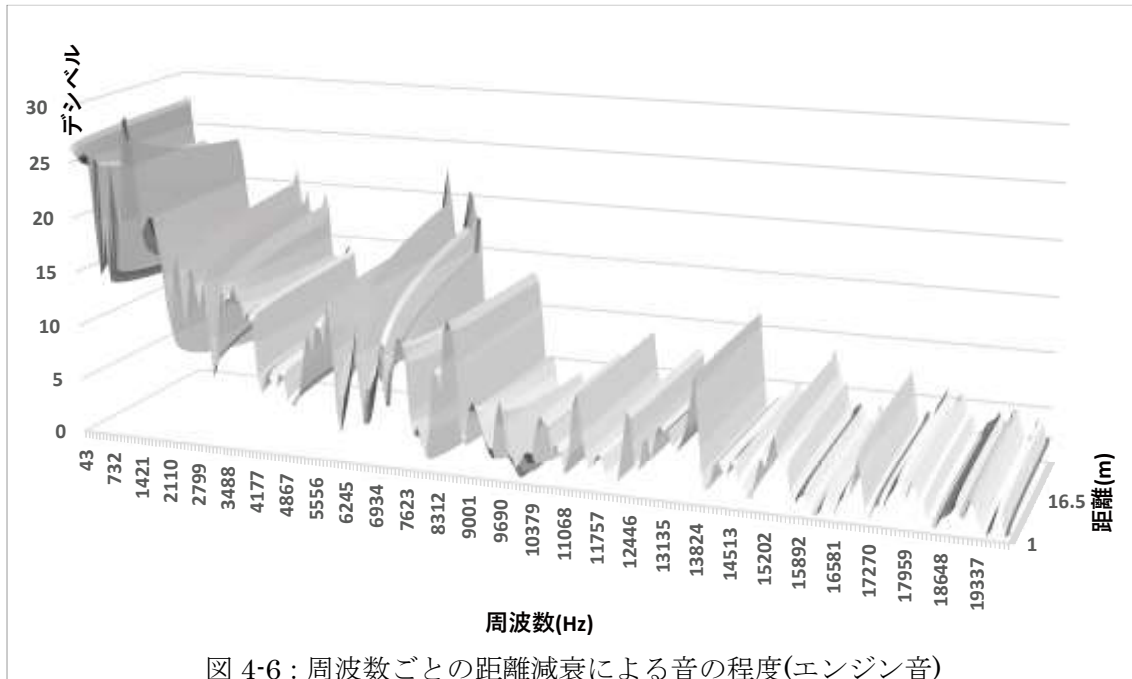
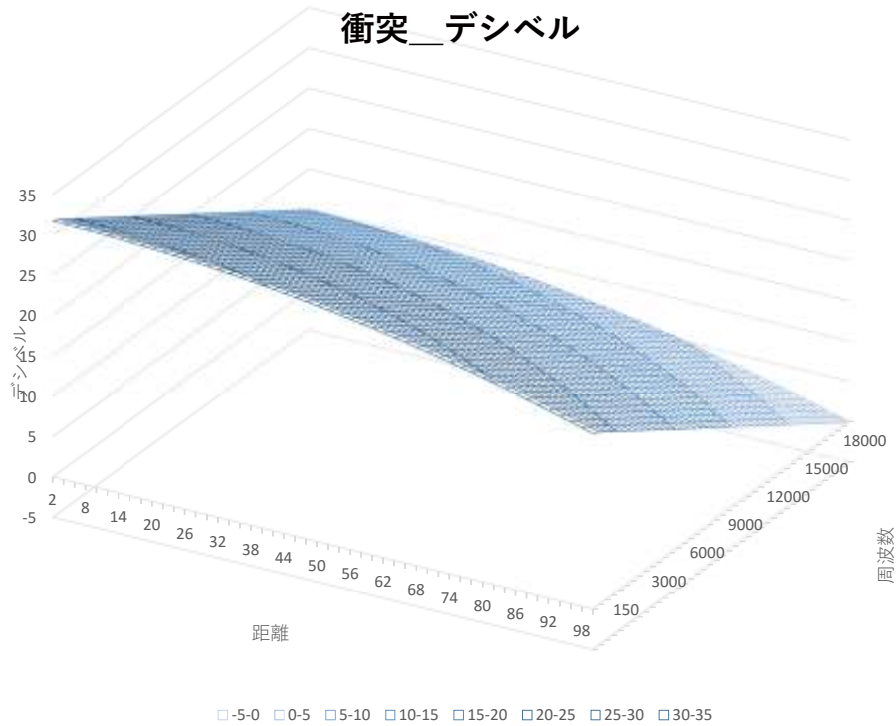


表 4-5 : 減衰推定式(エンジン音)

周波数(Hz)	推定式
20-150	$y = 0.335\ln(x) + 26.216$
250-1000	$y = -0.687\ln(x) + 25.51$
1000-2000	$y = -1.64\ln(x) + 18.845$
2000-3000	$y = 1.0139\ln(x) + 14.158$
3000-4000	$y = -0.494\ln(x) + 13.745$
4000-5000	$y = 0.3766\ln(x) + 12.078$
5000-6000	$y = 0.3709\ln(x) + 5.6316$
6000-7000	$y = 2.6621\ln(x) + 4.364$
7000-8000	$y = -0.564\ln(x) + 10.108$
8000-9000	$y = -0.18\ln(x) + 9.3449$
9000-10000	$y = -0.966\ln(x) + 6.8458$
10000-11000	$y = -0.038\ln(x) + 4.9894$
11000-12000	$y = -0.038\ln(x) + 4.9894$
12000-13000	$y = -0.038\ln(x) + 4.9894$
13000-14000	$y = -0.038\ln(x) + 4.9894$
14000-15000	$y = 0.3723\ln(x) + 3.5903$
15000-16000	$y = 0.3723\ln(x) + 3.5904$
16000-17000	$y = 0.3723\ln(x) + 3.5905$
17000-18000	$y = 0.3723\ln(x) + 3.5906$
18000-19000	$y = 0.3723\ln(x) + 3.5907$
19000-20000	$y = 0.3723\ln(x) + 3.5908$

これらの推定式をまとめ、周波数と距離の二次方程式によるデシベル値の推定式をそれぞれ図 4-7～図 4-10 に示す。推定式は目的変数をデシベル値(P)、説明変数を距離(d)と周波数(f)とした重回帰分析により算出したものである。(表 4-6～表 4-9)

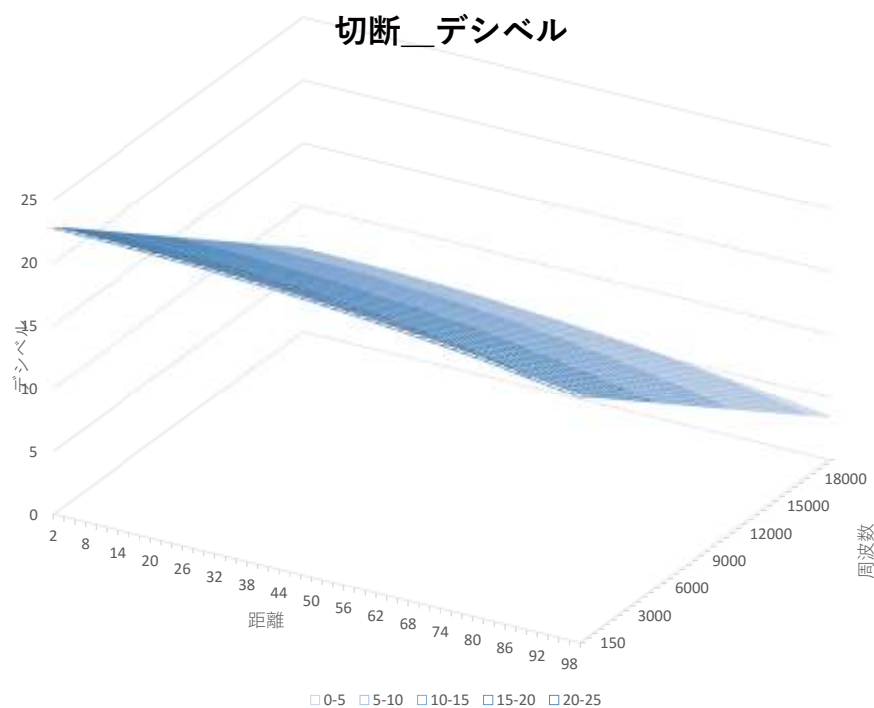


$$P = -0.0011f - 0.001d^2 + 31.90$$

図 4-7：二次推定式(衝突)

表 4-6：重回帰分析結果(衝突)

決定係数	0.58488		サンプル数	6960
重回帰式	$y = -0.0011x_1 - 0.001x_2 + 31.8996$			
変数名	係数	標準偏差	t 値	P 値
切片	31.899579	0.136983	232.87248	0
周波数	-0.001109	1.163E-05	-95.368428	0
距離2	-0.001	3.761E-05	-26.584481	2.1702E-148



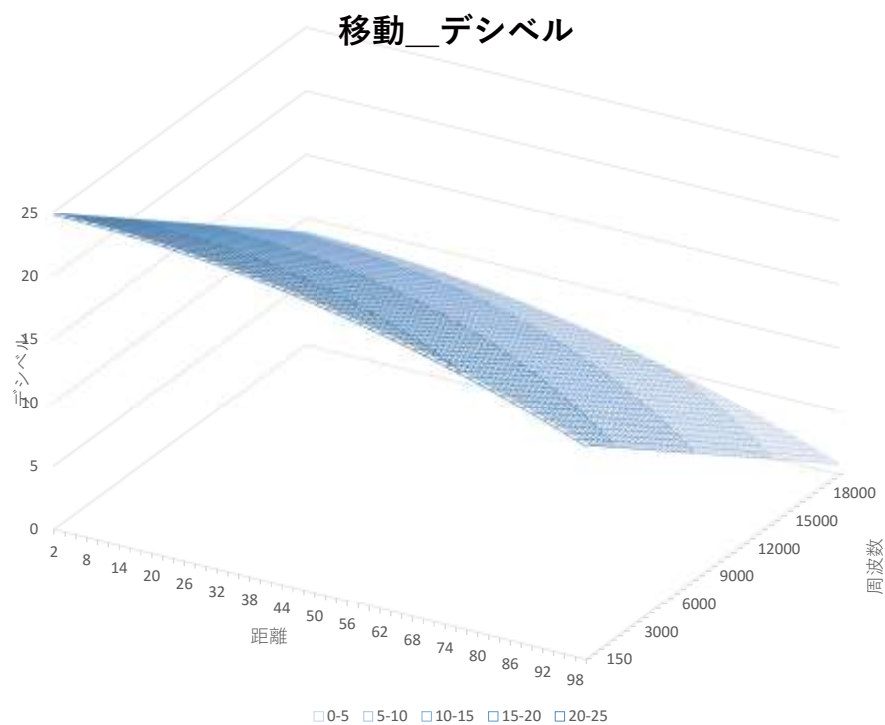
$$P = -.0.00081f - 0.00032d^2 + 22.81$$

図 4-8 : 二次推定式(切断)

表 4-7 : 重回帰分析結果(切断)

決定係数	0.565766		サンプル数	6960
重回帰式	$y = -0.00081x_1 - 0.00032x_2 + 22.81385$			
変数名	係数	標準偏差	t 値	P 値
切片	22.81385	0.1014192	224.94615	0
周波数	-0.000814	8.612E-06	-94.51339	0
距離2	-0.000319	2.785E-05	-11.46934	3.508E-30



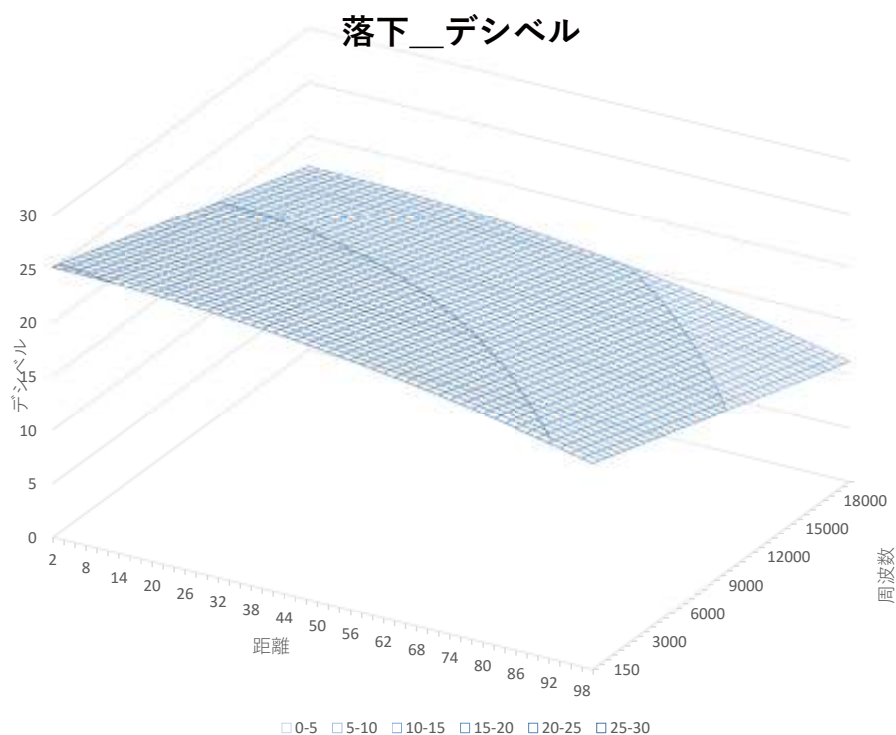


$$P = -0.0008f - 0.0008d^2 + 24.8575$$

図 4-9：二次推定式(移動音)

表 4-8：重回帰分析結果(移動音)

決定係数	0.488788		サンプル数	6960
重回帰式	y=-0.00082x <sub>1</sub> -0.00078x <sub>2</sub> +24.85754			
変数名	係数	標準偏差	t 値	P 値
切片	24.857538	0.1236735	200.99323	0
周波数	-0.000822	1.05E-05	-78.28176	0
距離2	-0.000777	3.396E-05	-22.8866	7.85E-112



$$P = -0.0004f - 0.0006d^2 + 25.1665$$

図 4-10 : 二次推定式(落下音)

表 4-9 : 重回帰分析結果(落下音)

決定係数	0.2477966		サンプル数	6960
重回帰式	$y = -0.0004x_1 - 0.0006x_2 + 25.1665$			
変数名	係数	標準偏差	t 値	P 値
切片	25.166502	0.1185137	212.35092	0
周波数	-0.000439	1.006E-05	-43.64818	0
距離2	-0.00064	3.254E-05	-19.66379	8.054E-84

### 4.3 周波数解析と人体影響

各騒音における発生音の周波数分布及び減衰の推定式算出を受け、実際にどれほど近隣生活者へ影響を与えうるのか先行研究<sup>9)</sup>における結果を基に算出を行った。

#### 4.3.1 評価方法

##### 先行研究結果

人体への影響を身体的影響と心理的影響の2つに分類しそれぞれ評価を行った。身体的影響では、緊張状態の指標となる心拍数による点数づけを行う。個人差を減少させるため安静状態との増加率で検討する。先行研究を基に、その騒音の持つ最大デシベル値における周波数と心拍数増加率の関係を図4-11に示す。

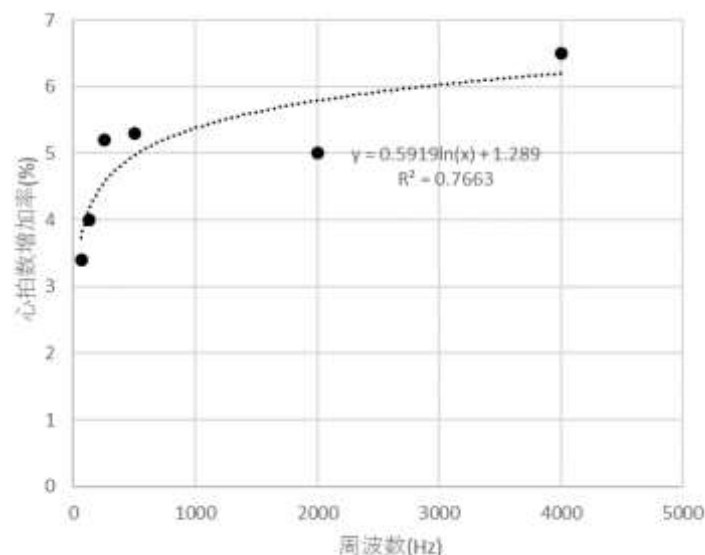


図 4-11：周波数と心拍数増加率の関係

心拍数増加率は周波数を  $x$  としたとき、 $y = -0.519\ln(x) + 1.289$  で表すことができ、 $R^2 = 0.766$  と高い相関がみられた。音が高くなると緊張感が高まるような精神的負担をあおる影響が与えられることが分かった。

次に心理的影響に関しての評価式においても、先行研究における被験者によるSD法による官能検査結果を基に分析されたショケイ積分により計算された3測度を使用した総合評価値を参考にした。周波数と評価値の関係を図4-12に示す。評価値は周波数を $x$ としたとき、 $y = 2 \times 10^{-7}x^2 - 0.0005x + 0.544$ で表すことができ、 $R^2 = 0.743$ とこちらも高い相関が見られた。心理的には低周波騒音に比べ中周波・高周波騒音がより不快感を与えることが理解できる。

身体的影響・心理的影響どちらにおいても、周波数との高い関連性が見られたのでこちらの結果をスコアリングの決定材料として使用することとした。心理的には低周波騒音に比べ中周波・高周波騒音がより不快感を与えることが理解できる。

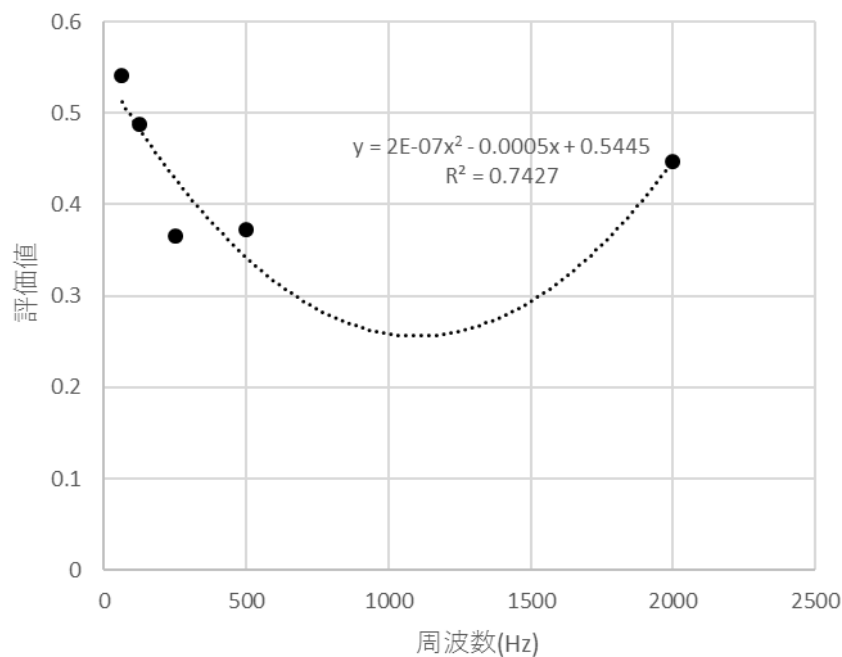


図 4-12：周波数と評価値の関係

### 先行研究結果を基にした基本スコアの決定

周波数と心拍数上昇率と評価値のそれぞれの関係をスコア化したものを図 4-13、図 4-14 に示す。心拍数上昇率は先行研究結果の数値を正負逆転させた数値で周波数が高い音ほど評価が低い(図 4-13)。評価値は先行研究結果で得られた数値を 10 倍にしたものから 10 引いた値とした(図 4-14)。それぞれの式は下記のものである。

身体影響：

$$y = -0.592\ln(x) - 1.289$$

$$y = 2 \times 10^{-6} x^2 - 0.0052x - 4.55 \quad (x \leq 2000)$$

心理影響：

$$y = -0.173\ln(x) - 4.21 \quad (x > 2000)$$

$$y = 2 \times 10^{-6} x^2 - 0.0052x - 4.55 \quad (x \leq 2000)$$

$$y = -0.173\ln(x) - 4.21 \quad (x > 2000)$$

どちらもそれぞれ評価の低いものが負の大きな値をとるように設定し、騒音が発生するたびに点数が負になるように合わせた。

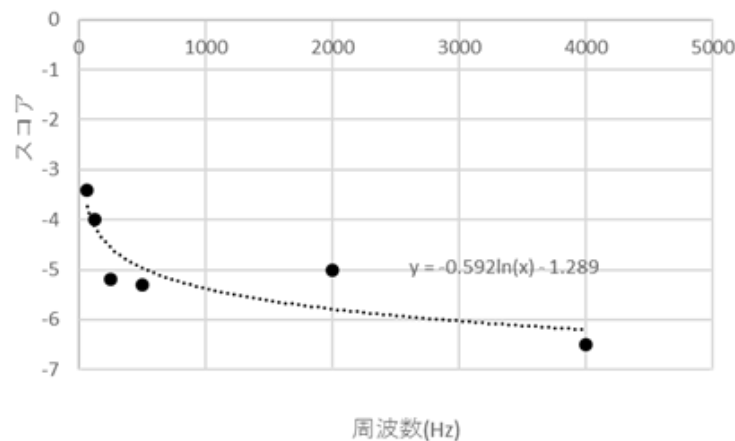


図 4-13：身体影響スコア値算出式

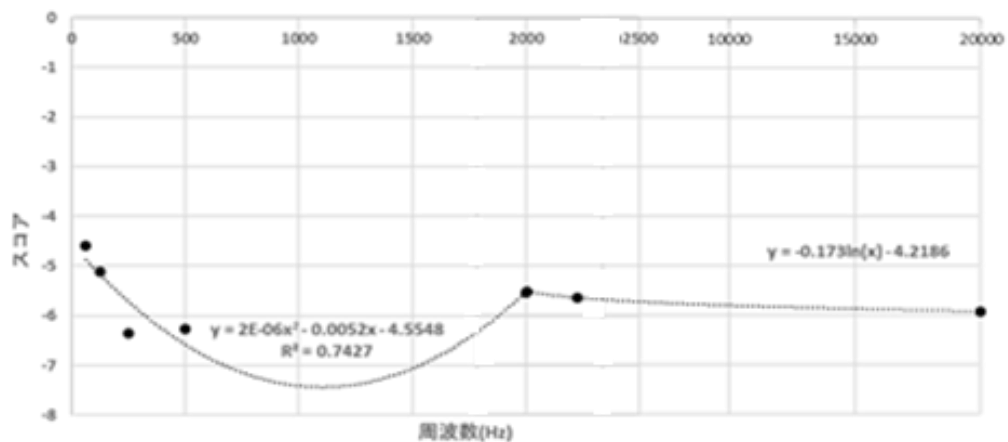


図 4-14：心理影響スコア算出式

## 4.3.2 評価結果

現場でのとある工程(作業1・作業2)のスコアリングを行った結果を図4-15,4-16に示す。

スコア(S)は、0.5秒ごと及び衝突音発生時の周波数分布データを取得し、図4-13,4-14で示したスコア係数計算式による計算値(s)にデシベルの大きさ(dB)を掛け合わせた数値の、すべての周波数の和である(式4-1)。

$$S = \sum (s \times \text{dB}) \quad \dots\dots\dots \text{式 4-1}$$

衝突による騒音の発生は、単発的かつ頻繁に起きやすいこと、発生周波数も中周波域の割合が高く悪影響を与えやすいことが図から容易に分かる。

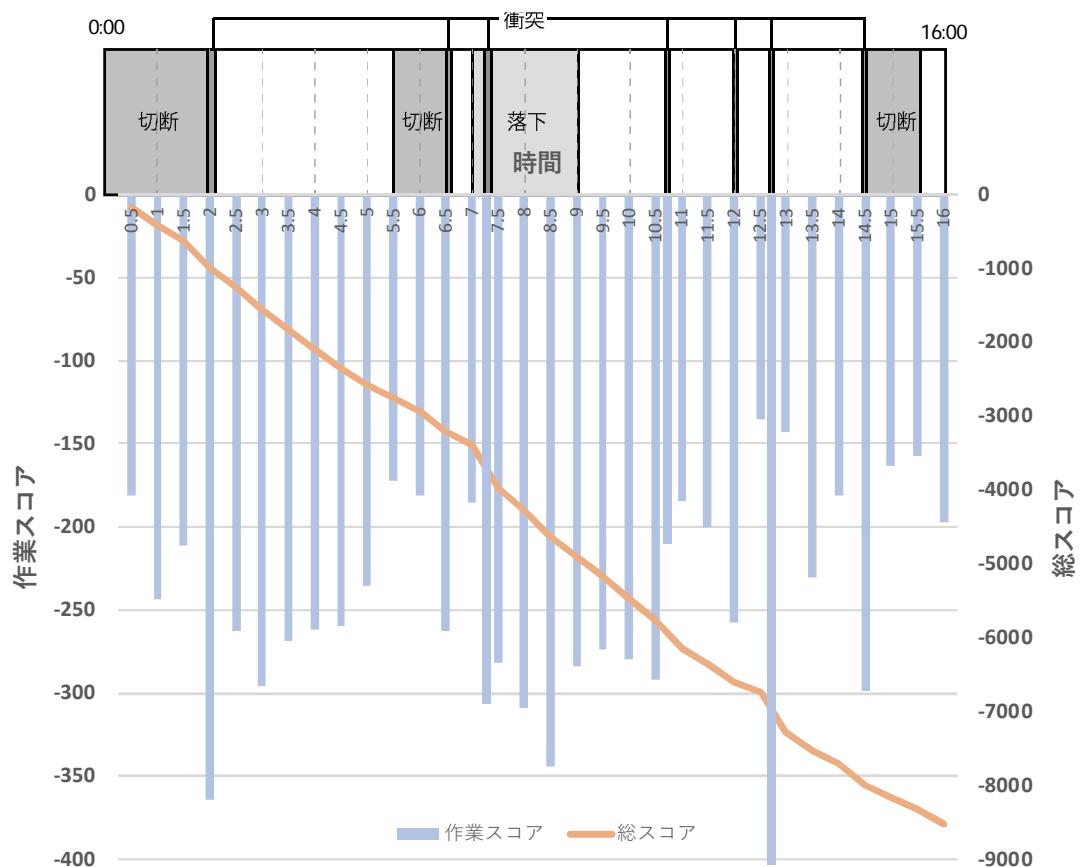


図 4-15：作業①におけるスコア値

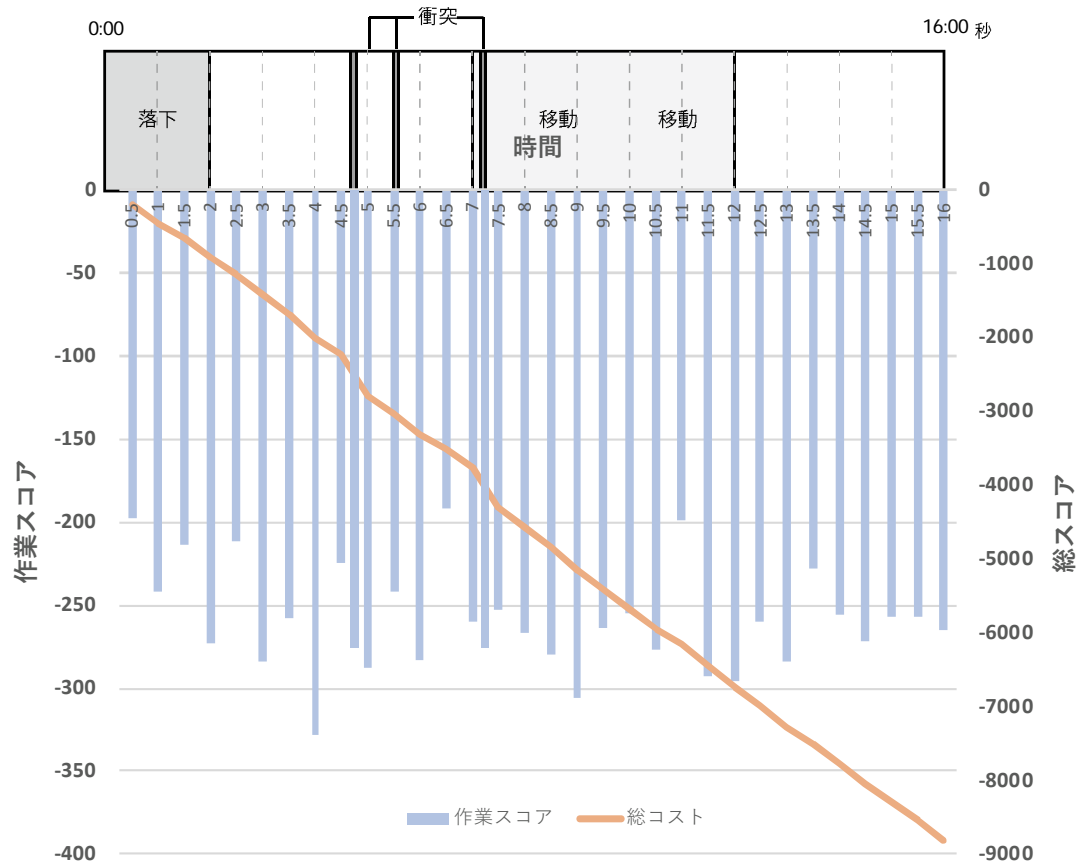


図 4-16 : 作業②におけるスコア値

2つの作業内容を比較すると、作業①では衝突回数が多いことや音の発生源となる作業時間が作業②より長い。そのため②と比較した時に①のほうがスコアとしても低くなると予想していたが結果は反対であった。移動に伴う騒音は、重機クローラ部分と地面に敷かれた金属板で発生する音が高い音を示し評価が悪くなった。特に作業②中の移動は直進や後退ではなく、旋回するものであったためにより摩擦が発生し高い音につながった。



### 4.3.3 距離によるスコア値の変化

次に騒音発生地からの距離によるスコア値の変動を示す。(図 4-17,図 4-18)

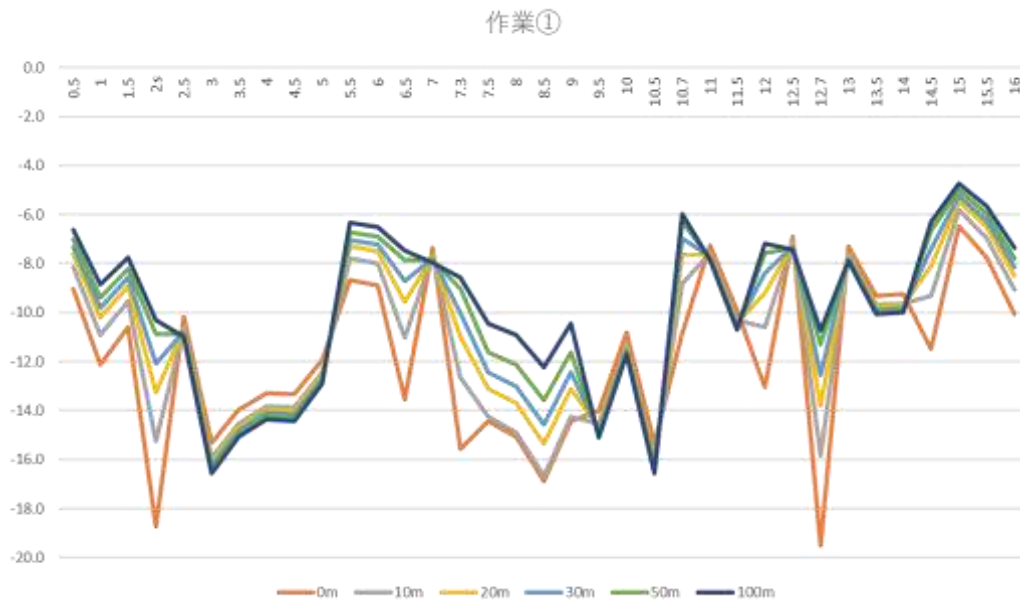


図 4-17:騒音発生地からの距離によるスコア値の変動(作業①)



図 4-18 : 騒音発生地からの距離によるスコア値の変動(作業②)

おおむね作業場からの距離が大きくなるほどスコアとして緩和されることが図からわかる。しかしエンジン音に限り今回の計測データからは悪化する結果となってしまった。これは、エンジン音自体は小さく、周辺の他重機による作業音を取り込まれてしまったことに起因すると考える。また実際のところ、エンジン音で発生するような低音は距離による減衰の程度も小さく<sup>13)</sup>現場周辺へ与える影響も他作業と比べ大きい可能性もある。

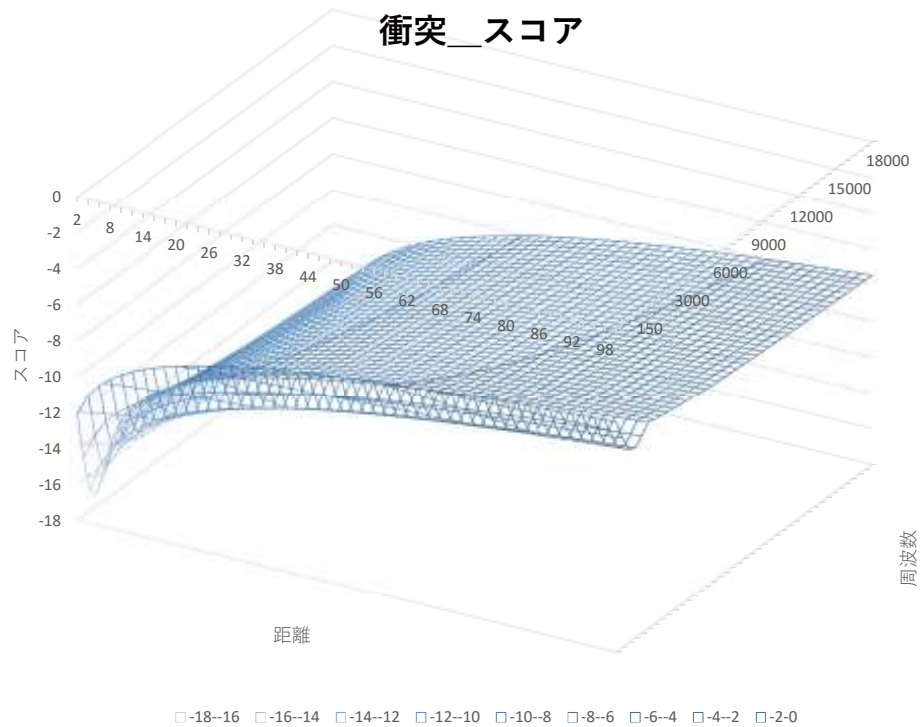
また図 4-15 などから、作業を行っていないときもエンジンの音やポンプ機械装置の音など周辺で発生していた音が実は大きな騒音となっていることが分かった。私自身現場滞在時にはあまり印象に残っていない音だった。

このことから、周辺で常に発生している音との関係も人間心理に与える影響に変化をもたらすことが考えられる。つまり同じ大きさの音でも、全く静かな状態で発生した音と、既に何らかの騒音がある中で聞く音とでは印象が違うと思われる。すなわち交通量の多いところと少ないところや、静かな昼間と子供たちが帰宅する時間とでは同じ発生騒音でも印象が異なるといえる。このことを確認するためにも時間帯の異なる暗騒音データを入手し、暗騒音との差分でのスコア値を計算する必要性があることを認識した。

#### 4.3.4 周波数と距離によるスコア値の推定

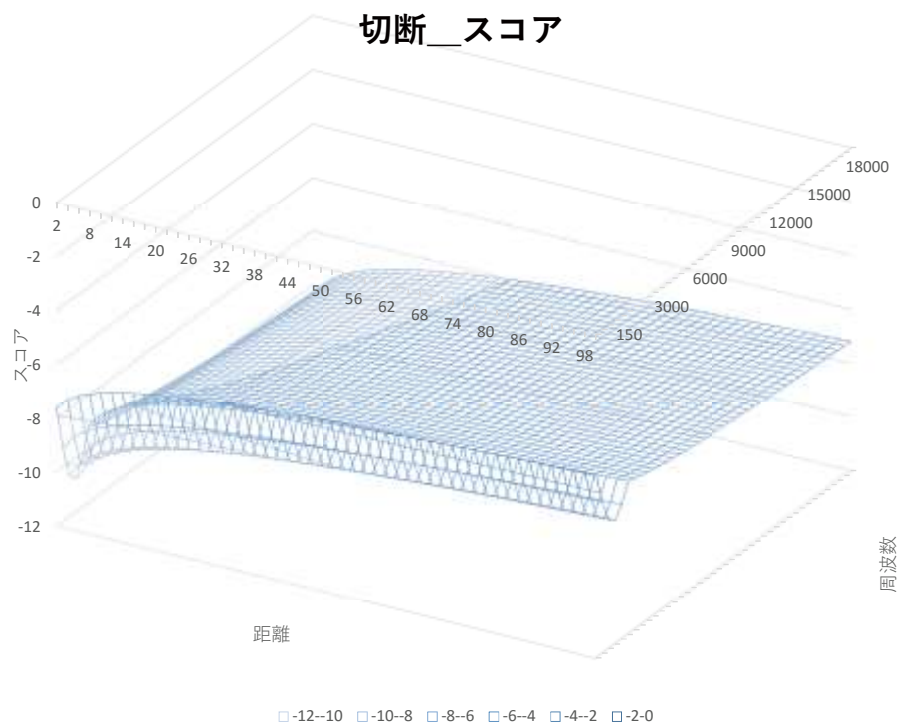
各作業における、周波数(**f**)と距離(**d**)におけるスコア値(**S**)の推定式を図 19～図 22 に示す。

スコア値 **S** の計算方法は、4.3.1 評価方法で述べた周波数による推定式に、距離による音の減衰補正値をかけあわせたものである。



$$\begin{aligned} S &= \frac{(-0.592\ln(f) + 2 \times 10^{-6}f^2 - 5.2 \times 10^{-3}f - 5.839) \times (-0.173\ln(d^2) + 1.46)}{(-0.756\ln(f) - 5.499) \times (-0.173\ln(d^2) + 1.46)} \quad (f \leq 2000) \\ & \quad (f > 2000) \end{aligned}$$

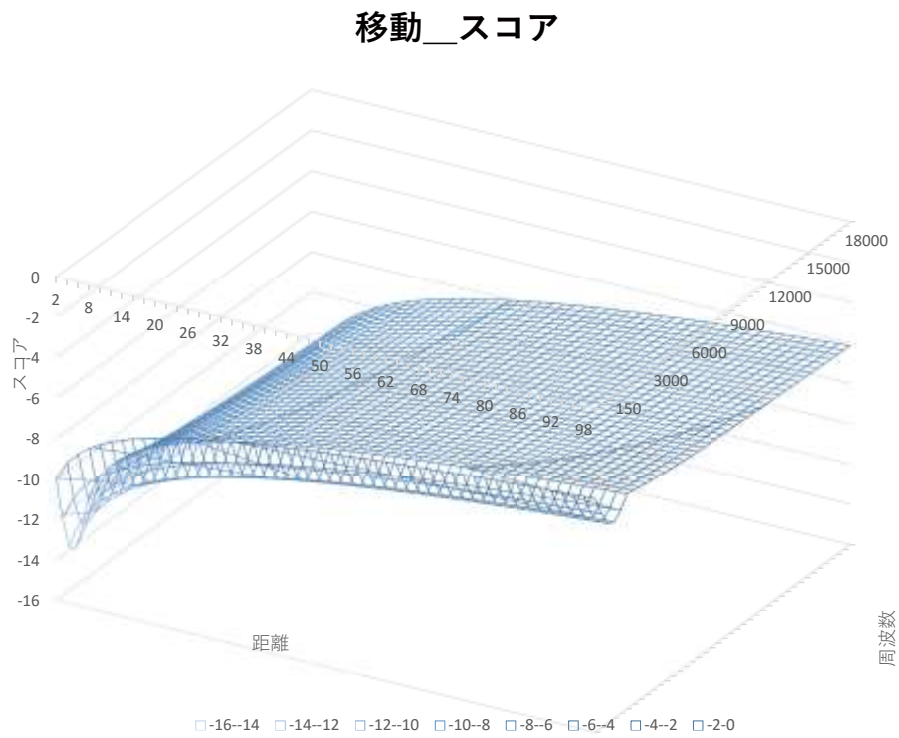
図 4-19 : スコア二次方程式(衝突)



$$S = \frac{(-0.592\ln(f) + 2 \times 10^{-6}f^2 - 5.2 \times 10^{-3}f - 5.839) \times (-0.064\ln(d^2) + 0.8445)}{(-0.756\ln(f) - 5.499) \times (-0.064\ln(d^2) + 0.8445)} \quad (f \leq 2000)$$

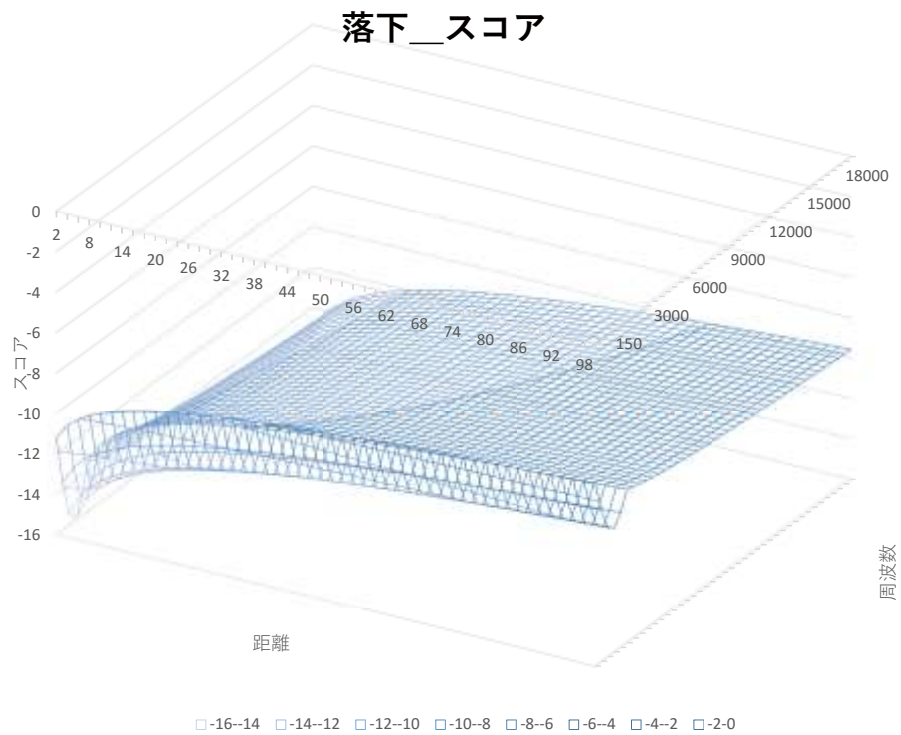
$$S = \frac{(-0.756\ln(f) - 5.499) \times (-0.064\ln(d^2) + 0.8445)}{(-0.756\ln(f) - 5.499) \times (-0.064\ln(d^2) + 0.8445)} \quad (f > 2000)$$

図 4-20 : スコア二次方程式(切断)



$$\begin{aligned}
 S = & (-0.592\ln(f) + 2 \times 10^{-6}f^2 - 5.2 \times 10^{-3}f - 5.839) \times (-0.149\ln(d^2) + 1.1564) \quad (f \leq 2000) \\
 & (-0.756\ln(f) - 5.499) \times (-0.149\ln(d^2) + 1.1564) \quad (f > 2000)
 \end{aligned}$$

図 4-21 : スコア二次方程式(移動)



$$\begin{aligned}
 S &= (-0.592\ln(f) + 2 \times 10^{-6}f^2 - 5.2 \times 10^{-3}f - 5.839) \times (-0.114\ln(d^2) + 1.2566) \quad (f \leq 2000) \\
 &\quad (-0.756\ln(f) - 5.499) \times (-0.114\ln(d^2) + 1.2566) \quad (f > 2000)
 \end{aligned}$$

図 4-22 : スコア二次方程式(落下)

## 第5章 まとめ

---

5.1 本研究における結論 .....	56
5.2 今後の展望 .....	57

## 5.1 本研究における結論

本研究では以下の知見が得られた。

- (1) 予備試験及び現場計測を通じ、衝撃騒音は材料の密度や表面硬度、衝撃量に寄与するなどの音の特性を知ることができた。
- (2) 工事内容ごとの周波数分布を把握することができた。低音が発生する作業としてはエンジン音、圧砕音が挙げられ、高音が発生しやすい作業としてはアタッチメントと建物との衝突が挙げられた。
- (3) 作業階層による波形の差異は4階まででは把握できなかった。
- (4) 周波数解析と距離減衰の程度から、周波数ごとの距離減衰推定式算定が可能となった。作業全般において低周波と比べ高周波の減衰の程度が大きいことが分かった。
- (5) 周波数と作業場からの距離の二つの変数により大きさを推定可能となった
- (6) 周波数分布を考慮した騒音の人体影響についての結果を適用することで、周辺地域住民への影響について定量的に評価可能となった
- (7) 人体影響に関して距離が離れるとスコアとしても上昇していることが分かり、今回行った周波数解析によるスコア値の算出が有意であるといえる。



## 5.2 今後の展望

本研究に関して、現場で得られたデータを基に減衰の程度やスコアなどを定量化したが、騒音は多様な環境条件によって変化しやすく、発生においても伝搬による減衰においてもばらつきが大きくサンプル数が不十分であったことは否定できない。今後はサンプル数の増加と共に、研究目標の一つでもある作業効率の上昇に向けて4Dシミュレーションソフトを用いて物理演算による精度の高い定量化を目標とする。

また現場を実際に訪れて、解体による振動が非常に大きく仮設事務所が大きく揺れていたことを経験した。今回は重機の挙動を測るために用いた振動計であったが、揺れが周辺建物に及ぼす影響を調査し、環境影響をより多角的に推定することが今後の課題であるだろう。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり多大な協力を得て進めることができました。

橘高義典先生（首都大学東京建築学域 教授）には懇切丁寧な指導を賜りましたことに加え、研究室内において新たな分野の研究を進めさせていただいたことに厚く御礼申し上げます。

國枝陽一郎先生（首都大学東京建築学域 助教）には研究の進め方や論文作成、現場計測の同行並びに先方との連絡など多大なサポート、熱心なご指導を頂きました。先生の熱心なご指導があったからこそここまで続けることができました。心より御礼申し上げます。

株式会社フジタ様、並びに解体現場作業員の方々。非常にお忙しい中、また期限も限られている中で解体現場の提供をしていただきましたこと、計測に対しお力添えいただいたことに心より御礼申し上げます。ありがとうございました。

小川さん（修士1年）、呉さん（修士1年）、汪君（修士1年）、安藤さん（学部4年）、甲斐君（学部4年）、長谷川さん（学部4年）、平林君（学部4年）、吉田君（学部4年）。大変な研究も皆さんがいたから乗り切れました。ありがとう。

一緒に修士論文作成に励んだ有山貴美子さん（修士2年）、園田未来君（修士2年）。皆様々な問題を抱えながら取り組んでましたね。心の支えでした。ありがとう。

研究を通し学んだ様々なことを今後社会で活かし、精進してまいります。  
改めまして関わった皆様に深く感謝いたします。

2020年1月  
榎本 遼

## 付録

---

参考

試験データ・計算データ

## 参考

- 1) 平成 22 年ロボット産業将来市場調査, 経済産業省  
[https://www.kensaibou.or.jp/safe\\_tech/statistics/occupational\\_accidents.html](https://www.kensaibou.or.jp/safe_tech/statistics/occupational_accidents.html)
- 2) 環境省：産業廃棄物の排出及び処理状況等(平成 28 年度実績),  
<http://www.env.go.jp/press/files/jp/110521.pdf>
- 3) ・ JIS A 1408 及び JIS B 1501
- 4) 商品説明にてグラスウールの吸音率 120%アップと記載
- 5) グラスウールの吸音率  
[http://oneworld-tf.co.jp/img/catalog/oneworld11\\_4.pdf](http://oneworld-tf.co.jp/img/catalog/oneworld11_4.pdf)
- 6) [https://www.onosokki.co.jp/HP-WK/c\\_support/faq/la/la\\_common\\_1.htm](https://www.onosokki.co.jp/HP-WK/c_support/faq/la/la_common_1.htm)
- 7) 日本工業規格：JIS C 1509, 附属書 E (規定) 周波数重み付け特性 A:2017
- 8) 豊川勝夫・市原恒一・澤口勇雄、種々の周波数分布を持った衝撃騒音に対する人間感覚の評価、森利学誌 12(1)'97,27-34 項
- 9) 環境省, よくわかる低周波音－2 低周波音の発生源と苦情
- 10) 日本騒音調査ソーチャー, 低周波音 (低周波騒音) と健康被害,  
<https://www.skklab.com/%E4%BD%8E%E5%91%A8%E6%B3%A2%E9%9F%B3%E3%81%A8%E5%81%A5%E5%BA%B7%E8%A2%AB%E5%AE%B3>
- 11) 労働安全衛生総合研究所, 低周波音とその人体への影響に関する研究について,  
[https://www.jniosh.johas.go.jp/publication/mail\\_mag/2015/86-column-1.html](https://www.jniosh.johas.go.jp/publication/mail_mag/2015/86-column-1.html)
- 12) 日本騒音調査ソーチャー,騒音規制法における騒音の 4 つのタイプとその分析/評価方法
- 13) 吉久光一、岡田恭明、龍田建次：音の長距離伝搬に及ぼす空気の音響吸収の影響－一年間の気象観測データを用いた検討－, 騒音制御:Vol28,No.4(2004),256-263 項

試験データ・計算データ

			暗騒音											調整デシ ベル値
周波数(Hz)	パワースペクトル	音階		周波数	パワーレベル		デシベル値							
43.0664	-45.6728			43.0664	-57.5627		11.8899	8.7617	10.58583	12.97326	14.36455	14.97416	15.44996	
86.1328	-47.9256	オクターブ 1 ファ		86.1328	-53.5591		5.6335	12.40995	15.3607	15.75584	15.58376	15.92577	16.86353	
129.199	-28.4574	オクターブ 2 ド		129.199	-47.6438		19.1864	18.31145	16.15098	15.41169	16.26777	17.80129	19.24374	
172.266	-27.6482	オクターブ 2 ファ		172.266	-45.0847		17.4365	13.9905	14.6724	17.12385	19.33481	20.68619	21.28326	
215.332	-35.637	オクターブ 2 ラ		215.332	-46.1815		10.5445	15.3543	19.5753	21.54576	22.03757	21.88033	21.53409	
258.398	-29.0336	オクターブ 3 ド		258.398	-49.1977		20.1641	23.7963	23.51623	22.52938	21.72309	21.18785	20.69261	
301.465	-24.5568	オクターブ 3 レ		301.465	-51.9853		27.4285	23.23615	21.54253	20.91681	20.65261	20.19737	19.26632	
344.531	-30.2551	オクターブ 3 ファ		344.531	-49.2989		19.0438	19.8489	20.2911	20.3884	19.74213	18.33527	16.67352	
387.598	-29.5494	オクターブ 3 ソ		387.598	-50.2034		20.654	20.7333	20.4857	19.09586	16.92841	15.01178	14.01642	
430.664	-34.3643	オクターブ 3 ラ		430.664	-55.1769		20.8126	20.2381	17.70603	14.76095	13.09515	13.02107	14.06874	
473.73	-35.4208	オクターブ 3 ラ#		473.73	-55.0844		19.6636	15.17395	11.81588	11.42935	12.94699	15.11641	17.00326	
516.797	-46.6135	オクターブ 4 ド		516.797	-57.2978		10.6843	8.4578	11.04283	14.46463	17.28584	18.89011	19.17112	
559.863	-45.9347	オクターブ 4 ド#		559.863	-52.166		6.2313	13.62785	17.88643	20.10705	20.49438	19.45213	17.53688	
602.93	-32.1708	オクターブ 4 レ		602.93	-53.1952		21.0244	22.145	22.32768	20.88171	18.40987	15.62164	13.018	
645.996	-36.5454	オクターブ 4 ミ		645.996	-59.811		23.2656	22.51035	19.43575	15.93803	12.83341	10.41436	8.599008	
689.063	-43.2081	オクターブ 4 ファ		689.063	-64.9632		21.7551	16.36115	12.4403	9.728788	7.995306	6.783659	6.112388	
732.129	-49.1409	オクターブ 4 ファ#		732.129	-60.1081		10.9672	8.51945	7.017275	6.261825	5.572013	5.441116	6.316552	
775.195	-45.8349	オクターブ 4 ソ		775.195	-51.9066		6.0717	5.5151	5.506375	4.8822	5.310219	7.191988	10.02468	
818.262	-50.4859	オクターブ 4 ソ#		818.262	-55.4444		4.9585	5.49765	4.258025	5.738238	9.073756	12.85738	16.08633	
861.328	-54.8233	オクターブ 4 ラ		861.328	-60.8601		6.0368	3.0184	7.21845	12.40928	16.641	19.31529	20.54342	
904.395	-64.3121	オクターブ 4 ラ		904.395	-60.0002		0	11.4185	17.6001	20.87273	21.98958	21.77156	21.09544	
947.461	-37.1331	オクターブ 4 ラ#		947.461	-59.9701		22.837	23.7817	24.14535	23.10644	21.55353	20.41932	20.02195	
990.527	-36.0247	オクターブ 4 シ		990.527	-60.7511		24.7264	24.509	22.06753	20.00063	19.28511	19.62458	20.44959	

出力されたデータと計算シート



### 周波数 - 距離 - デシベル値の表





## ・重回帰分析結果

回帰統計								
重相関 R	0.764772							
重決定 R2	0.584877							
補正 R2	0.584757							
標準誤差	5.59748							
観測数	6960							
分散分析表								
	自由度	変動	分散	測された分散	有意 F			
回帰	2	307110.1	153555.1	4900.935797	0			
残差	6957	217975.2	31.33178					
合計	6959	525085.3						
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	31.89958	0.136983	232.8725	0	31.63105	32.16811	31.63105	32.16811
X 値 1	-0.00111	1.16E-05	-95.3684	0	-0.00113	-0.00109	-0.00113	-0.00109
X 値 2	-0.001	3.76E-05	-26.5845	2.1702E-148	-0.00107	-0.00093	-0.00107	-0.00093

回帰統計								
重相関 R	0.752174							
重決定 R2	0.565766							
補正 R2	0.565641							
標準誤差	4.144249							
観測数	6960							
分散分析表								
	自由度	変動	分散	測された分散	有意 F			
回帰	2	155678	77839.01	4532.164	0			
残差	6957	119485.1	17.1748					
合計	6959	275163.1						
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	22.81385	0.101419	224.9462	0	22.61504	23.01266	22.61504	23.01266
X 値 1	-0.00081	8.61E-06	-94.5134	0	-0.00083	-0.0008	-0.00083	-0.0008
X 値 2	-0.00032	2.78E-05	-11.4693	3.51E-30	-0.00037	-0.00026	-0.00037	-0.00026

回帰統計								
重相関 R	0.699134							
重決定 R2	0.488788							
補正 R2	0.488641							
標準誤差	5.053619							
観測数	6960							
分散分析表								
	自由度	変動	分散	割された分散	有意 F			
回帰	2	169881.5	84940.75	3325.915	0			
残差	6957	177675.2	25.53906					
合計	6959	347556.7						
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	24.85754	0.123674	200.9932	0	24.6151	25.09998	24.6151	25.09998
X 値 1	-0.00082	1.05E-05	-78.2818	0	-0.00084	-0.0008	-0.00084	-0.0008
X 値 2	-0.00078	3.4E-05	-22.8866	7.8E-112	-0.00084	-0.00071	-0.00084	-0.00071

回帰統計								
重相関 R	0.497792							
重決定 R2	0.247797							
補正 R2	0.24758							
標準誤差	4.842777							
観測数	6960							
分散分析表								
	自由度	変動	分散	割された分散	有意 F			
回帰	2	53749.08	26874.54	1145.914	0			
残差	6957	163159	23.45249					
合計	6959	216908.1						
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	25.1665	0.118514	212.3509	0	24.93418	25.39883	24.93418	25.39883
X 値 1	-0.00044	1.01E-05	-43.6482	0	-0.00046	-0.00042	-0.00046	-0.00042
X 値 2	-0.00064	3.25E-05	-19.6638	8.05E-84	-0.0007	-0.00058	-0.0007	-0.00058